



TUGAS AKHIR - MM 091381

**PENGARUH PENAMBAHAN INHIBITOR SARANG
SEMUT TERHADAP LAJU KOROSI BAJA API 5L
GRADE B PADA TEMPERATUR 30°C, 40°C, 50°C
DALAM MEDIA HCl 1M**

PUTRI ASTRINI ARUMASTUTI
NRP 2710 100 033

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA

JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2014



FINAL PROJECT - MM 091381

**THE EFFECT OF MYRMECODIA PENDANS
INHIBITOR ADDITION ON CORROSION RATE
OF API 5L STEEL GRADE B AT THE
TEMPERATURE 30°C,40°C,50°C IN HCL 1M**

PUTRI ASTRINI ARUMASTUTI
NRP 2709 100 033

Advisor
Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA

MATERIALS AND METALLURGYCAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty Of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute Of Technology
Surabaya 2014

**PENGARUH KONSENTRASI INHIBITOR ORGANIK
TERHADAP LAJU KOROSI BAJA KARBON API 5L GRADE B
DI LINGKUNGAN H_2SO_4 0.5 M**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Material dan Metalurgi
pada
Bidang Studi Korosi dan Kegagalan Material
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknik Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
SAUDAH
NRP. 2710 100 113

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA (Pembimbing)



**THE EFFECT OF MYRMECODIA PENDANS
INHIBITOR ADDITION ON CORROSION RATE OF
API 5L STEEL GRADE B AT THE TEMPERATURE
30°C,40°C,50°C IN HCL 1M**

Name : Putri Astrini Arumastuti
NRP : 2710100033
Department : Materials and Metallurgical Engineering
Supervisor : Prof.. Dr. Ir. Sulistijono, DEA

Abstract

Corrosion is one of material damage caused by a chemical reaction between a metal or metal alloy in a certain environment. One of the solution to control the corrosion rate that massively being used is by adding inhibitors. The purpose of this research was to study the effect of Myrmecodia pendans plant's extract as a bio-inhibitor in acidic corrosive media.

In this research API 5L Grade B carbon steel (pipeline materials) was used on the temperatures of 30 °C, 40 °C, 50 °C in medium corrosive HCl 1M with various concentration of Myrmecodia pendans 0 mg / L, 100 mg / L and 500 mg / L . The method of extraction used maceration of Myrmecodia pendans powder with 80% ethanol and then evaporated with a rotary evaporator. The Effectiveness of this bio-inhibitor in acid environment was tested with Immersion Testing (Weight Loss), Electrochemical Impedance Spectroscopy Testing and FTIR.

The test results showed that the highest corrosion rate of steel API 5L grade B was performed at 3563.59 mpy with 500mg / l concentration on the temperature of 30 °C. While the lowest corrosion rate on steel API 5L grade B was 1667.93 mpy with in the 0mg / l concentration at a temperature of 50 °C. The addition Myrmecodia pendans inhibitors was proved to be able to reduce the corrosion rate by forming a thin layer on the metal surface.

Keywords: bio inhibitors, Myrmecodia pendans, acid solutions, API 5L Grade B

PENGARUH PENAMBAHAN INHIBITOR SARANG SEMUT TERHADAP LAJU KOROSI BAJA API 5L GRADE B PADA TEMPERATUR 30°C, 40°C, 50°C DALAM MEDIA HCl 1M

Nama : Putri Astrini Arumastuti
NRP : 2710100033
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi
Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA

Abstrak

Korosi adalah suatu kerusakan material yang disebabkan oleh reaksi kimia antara sebuah logam atau logam paduan yang berada di dalam suatu lingkungan. Salah satu upaya untuk mengendalikan laju korosi yang sedang marak digunakan adalah dengan menambahkan inhibitor. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mempelajari pengaruh ekstrak tumbuhan sarang semut (Myrmecodia pendans) sebagai bioinhibitor dalam media korosif asam.

Dalam penelitian ini digunakan baja karbon yang digunakan sebagai material pipelines jenis API 5L Grade B pada temperature 30°C, 40°C, 50°C dalam media korosif HCl 1M dengan variasi konsentrasi dari ekstrak tumbuhan sarang semut 0 mg/L, 100 mg/L dan 500 mg/L. Metode ekstraksi dari tumbuhan sarang semut menggunakan metode maserasi serbuk sarang semut dengan 80 % ethanol yang kemudian diuapkan dengan rotary evaporator. Efektivitas penggunaan bioinhibitor sarang semut dalam asam diketahui melalui beberapa pengujian yaitu Uji Imersi (Weight Loss), Uji Electrochemical Impedance Spectroscopy dan Uji FTIR.

Hasil pengujian menunjukan bahwa laju korosi tertinggi pada baja API 5L grade B ketika konsentrasi 500mg/l di temperatur 30°C sebesar 3563.59mpy. Sedangkan laju korosi terendah pada baja API 5L grade B ketika konsentrasi 0mg/l di temperatur 50°C sebesar 1667.93mpy. Penambahan inhibitor sarang semut mampu menurunkan laju korosi dengan membentuk lapisan tipis di permukaan logam.

Kata Kunci : bio inhibitor, Myrmecodia Pendans, larutan asam, API 5L Grade B

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Hirobbil'alamin. Segala puji bagi Allah ﷻ Yang Maha Pengasih Lagi Penyayang, Rabb yang maha menguasai segala ilmu pengetahuan. Penulisan Tugas Akhir dengan judul ***Pengaruh Penambahan Inhibitor Sarang Semut Terhadap Laju Korosi Baja API 5L Grade B Pada Temperatur 30°C, 40°C, 50°C Dalam Media HCl 1M*** telah selesai dilaksanakan.

Laporan ini merupakan salah satu syarat yang harus ditempuh untuk menyelesaikan pendidikan guna memperoleh gelar kesarjanaan sesuai dengan kurikulum di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI - ITS.

Penulis menyadari bahwa selama proses penyusunan tugas akhir ini telah melibatkan banyak pihak yang sangat membantu. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua atas segala doa dan dukungan baik secara moril dan materil.
2. Keluarga besar Trenggalek maupun Rembang atas segala doa, dukungan dan semua bentuk kebaikan yang sangat luar biasa.
3. Ferry Setiawan selaku motivator terbesar yang selalu mendampingi dan mengorbankan segalanya dalam penyelesaian tugas akhir.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA, selaku dosen pembimbing.
5. Ibu Rindang Fajarin Ssi, MSi., Bapak Tubagus N R ST, MSc dan Bapak Ir. Moh. Farid, DEA, selaku dosen penguji.
6. Segenap dosen Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS.
7. Seluruh staf dan karyawan Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS yang telah banyak membantu.

8. Keluarga besar MT 12 yang selalu menghibur dan membantu dalam segala keadaan.
9. Seluruh mahasiswa yang masih berjuang untuk kemerdekaan demi meningkatkan kehidupan bangsa Indonesia.
10. Serta pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan tugas akhir ini, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi perbaikan dimasa datang. Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi semua.

Surabaya, Juli 2014

Penulis



DAFTAR ISI

BAB	HALAMAN
JUDUL	i
TITLE	iii
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xxi
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	 6
2.1 Pengertian Korosi	9
2.2 Mekanisme Terjadinya Korosi	7
2.3 Jenis-Jenis Korosi	12
2.3.1 <i>Uniform Attack</i> (korosi merata)	12
2.3.2 <i>Pitting corrosion</i> (korosi sumur)	13
2.3.3 <i>Errosion Corrosion</i> (korosi erosi)	14
2.3.4 <i>Galvanic corrosion</i> (korosi galvanik)	15
2.3.5 <i>Stress corrosion</i> (korosi tegangan)	16
2.3.6 <i>Crevice corrosion</i> (korosi celah)	18
2.3.7 Korosi Mikrobiologi	19
2.3.8 <i>Fatigue corrosion</i> (korosi lelah)	20
2.4 Jenis Korosi Menurut Lingkungan	20
2.4.1 Korosi di Lingkungan Tanah	20



2.4.2 Korosi Lingkungan Air Laut	21
2.4.3 Tempat Terjadinya Korosi Produksi Minyak	21
2.5 Faktor Penyebab Korosi	22
2.6 Pengendalian Korosi	28
2.6.1 Pelapisan (<i>Coating</i>)	28
2.6.2 Proteksi Katodik	29
2.6.3 Proteksi Anodik	29
2.7 Perhitungan Laju Korosi	33
2.7.1 Metode <i>Weight Loss</i>	34
2.7.2 Pembentukan Lapisan Pasif	35
2.7.3 Metode EIS	35
2.7.4 <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR)	40
2.8 Mekanisme Terjadinya Korosi pada Baja	43
2.9 Temperatur	45
2.10 Isoterm Adsorpsi	48
2.11 Inhibitor	48
2.11.1 Efisiensi Inhibitor	52
2.11.2 Sarang Semut Sebagai Inhibitor	53
2.11.3 Penelitian Sebelumnya	54
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	63
3.1 Diagram Alir Penelitian	63
3.2 Peralatan Penelitian	64
3.3 Bahan Penelitian	64
3.4 Prosedur Penelitian	65
3.4.1 Preparasi Spesimen	65
3.4.2 Preparasi Larutan	69
3.4.3 Preparasi Inhibitor	70
3.4.4 Pengujian	72
3.4.4.1 Uji EIS	72
3.4.4.2 Uji <i>Weight Loss</i>	73
3.4.4.3 Uji <i>FTIR</i>	74
3.5 Rancangan Pengambilan Data Penelitian	76
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	79



4.1 Analisis Data	79
4.1.1 Hasil Pengujian <i>Weight Loss</i>	79
4.1.2 Hasil Pengujian EIS	91
4.1.3 Hasil Pengujian FTIR	96
4.1.4 Mekanisme Adsorpsi	100
4.2 Pembahasan	105
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	109
5.1 Kesimpulan	109
5.2 Saran	109
DAFTAR PUSTAKA	111
LAMPIRAN A	117
LAMPIRAN B	124
LAMPIRAN C	126
LAMPIRAN D	127



(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi Korosi Tanah berdasarkan Resivitas...	20
Tabel 2.2 Klasifikasi Korosi Tanah berdasarkan Resivitas...	21
Tabel 2.3 Hubungan Laju Korosi dan Ketahanan Korosi	33
Tabel 2.4 Frekuensi Gugus Untuk Gugus Fungsi Organik...	42
Tabel 2.5 Penelitian <i>green inhibitor</i>	58
Tabel 3.1 Komposisi Kimia Baja API 5L Grade B	64
Tabel 3.2 Parameter yang Digunakan Uji EIS	72
Tabel 3.3 Rancangan Percobaan Metode EIS	76
Tabel 3.4 Rancangan Percobaan Metode Weight Loss	77
Tabel 4.1 Data Pengurangan Berat di Temperatur 30°	73
Tabel 4.2 Data Pengurangan Berat di Temperatur 40°C	76
Tabel 4.3 Data Pengurangan Berat di Temperatur 50°	77
Tabel 4.4 Hasil <i>equivalent circuit</i> inhibitor sarang semut ...	79
Tabel 4.5 Hasil Pengujian FTIR antara <i>Wavenumber</i> pada Ekstrak Sarang Semut	82
Tabel 4.6 Analisa Daerah Serapan dan Ikatan Kimia untuk Masing-masing Puncak Pick Sarang Semut	84
Tabel 4.7 Derajat <i>Survace Coverage</i>	86
Tabel 4.8 Nilai Energi Bebas Adsorpsi	88
Tabel 4.9 Nilai Energi Aktivasi Akibat Penamabahan Ekstrak Sarang Semut (<i>Myrmecodia Pendans</i>)	90
Tabel D.1 Hasil rata-rata laju korosi dari pengujian <i>weight loss</i> pada konsentrasi 500 mg/L inhibitor sarang semut di larutan 1M HCl	109
Tabel D.2 Hasil rata-rata laju korosi dari pengujian <i>weight loss</i> pada konsentrasi 100 mg/L inhibitor sarang semut di larutan 1M HCl	109

Tabel D.1 Hasil rata-rata laju korosi dari pengujian <i>weight loss</i> tanpa penambahan inhibitor sarang semut di larutan 1M HCl.....	109
---	-----



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Faktor Pengaruh Ketahanan Material	7
Gambar 2.2 Korosi Uniform	10
Gambar 2.3 Bentuk-bentuk Korosi Sumuran	12
Gambar 2.4 Skema Korosi Erosi	13
Gambar 2.5 Korosi Galvanik	14
Gambar 2.6 Sel Galvanis Mikro	20
Gambar 2.7 Laju Korosi di Lingkungan CO ₂ pada pH 4	33
Gambar 2.9 Sarang Semut	35
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	49
Gambar 3.2 Spesimen <i>weight loss</i>	52
Gambar 3.3 Timbangan Digital	53
Gambar 3.4 Pengujian <i>weight loss</i>	53
Gambar 3.5 Spesimen uji EIS	55
Gambar 3.6 Proses ekstraksi sarang semut	57
Gambar 3.7 Peralatan FTIR	61
Gambar 3.8 Alat X-Ray <i>Diffraction</i>	57
Gambar 4.1 Grafik Pengaruh Laju Korosi Terhadap Konsentrasi HCl 1M di Temperatur 30 ⁰ C	67
Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Laju Korosi Terhadap Konsentrasi HCl 1M di Temperatur 40 ⁰ C	68
Gambar 4.3 Grafik Pengaruh Laju Korosi Terhadap Konsentrasi HCl 1M di Temperatur 50 ⁰ C.	69
Gambar 4.4 Grafik Pengaruh Laju Korosi Terhadap Temperatur Tanpa Penambahan Inhibitor Media HCL 1M.	70
Gambar 4.5 Grafik Pengaruh Laju Korosi Terhadap Temperatur Dalam Media HCl 1M 100 mg/l.	71
Gambar 4.6 Grafik Pengaruh Laju Korosi Terhadap Temperatur Dalam Media HCl 1M 500mg/l.	72



Gambar 4.7 Hasil pengujian EIS Baja API 5L dengan variasi konsentrasi 0mg/l dan 500mg/l inhibitor sarang semut dalam larutan HCl 1M..	76
Gambar 4.8 <i>Equivalent circuit</i> dari plot Nyquist pada <i>software Nova</i> dalam arutan HCl 1M.	77
Gambar 4.9 Hasil fitting EIS Baja API 5L Gr B konsentrasi 500mg/l di HCl 1M.	79
Gambar 4.10 Hasil Pengujian FTIR dari Produk Korosi yang Dihasilkan Baja API 5L Gr B	82
Gambar 4.11 Pengaruh Penambahan Konsentrasi Inhibitor Terhadap <i>Surface Coverage</i>	87
Gambar A.1 Diagram Alir Pembuatan Ekstrak Sarang Semut korosi	99
Gambar A.2 Diagram alir pembuatan elektroda kerja	100
Gambar A.3 Diagram Alir Pembuatan Spesimen <i>Coupon</i>	101
Gambar A.4 Diagram Alir Pembuatan Media HCl 1M	102
Gambar A.5 Diagram Alir SOP Metode <i>Weight Loss</i>	103
Gambar A.6 Diagram Alir SOP Metode EIS	105
Gambar B.1 Pengamatan visual hasil pengujian weight loss di dalam HCl 1M	110

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Logam dalam penggunaannya selalu timbul masalah yang terkadang cukup sulit untuk memecahkannya. Salah satu masalah yang sering timbul pada logam adalah terjadinya korosi. Korosi adalah suatu kerusakan material yang disebabkan oleh reaksi kimia antara sebuah logam atau logam paduan yang berada di dalam suatu lingkungan. Lingkungan yang dapat menyebabkan suatu logam mengalami korosi adalah lingkungan yang mengandung air, lingkungan yang mengandung ion Cl⁻, dan lingkungan yang mengandung asam (Tjitro, 2003).

Reaksi korosi ini akan menyebabkan suatu material mengalami perubahan sifat (baik secara fisik maupun kimia) yang cenderung kearah lebih rendah atau bisa dikatakan kemampuan dari suatu material atau logam apabila terkena korosi akan mengalami penurunan kualitas maupun kuantitas. Proses korosi ini merupakan suatu fenomena yang alami. Jika dipandang dari sudut metalurgi, fenomena korosi ini merupakan suatu peristiwa dimana suatu material atau logam akan kembali dalam bentuk asalnya karena pada bentuk asalnya logam memiliki energi yang rendah. (Jones, 1992).

Biaya korosi terhadap produksi minyak dan pemurniaannya. Mereka menemukan bahwa 25% biaya perawatan plant *gas sweetening* dikeluarkan untuk pengendalian korosi, 17% biaya perawatan plant *gas fractionation* untuk korosi, 28% biaya perawatan operasi produksi *onshore*, sedangkan untuk *offshore* dibutuhkan 60-70% biaya perawatan untuk korosi. Berdasarkan data NACE, biaya yang dikeluarkan oleh USA untuk penanggulangan korosi pada distribusi gas sebesar \$5 milyar, eksplorasi dan pemurniaan minyak dan gas sebesar \$1,4 milyar, serta penyulingan minyak sebesar \$3,7 milyar. (Saudi Aramco, 2003).



Baja karbon merupakan jenis material yang biasa digunakan dalam beragam aplikasi di dunia industri dikarenakan mudah didapatkan dan difabrikasi serta memiliki nilai kekuatan tarik yang cukup baik. Baja jenis ini mudah mengalami korosi dalam lingkungan larutan asam ketika proses pembersihan asam (*acid cleaning*), transportasi larutan asam, penyimpanan larutan asam atau senyawa kimia, *de-scaling* dan proses *pickling* (Ostovari dkk, 2009).

Salah satu metode yang digunakan untuk menghambat proses korosi adalah dengan penambahan inhibitor korosi. Akibat hal-hal tersebut maka penelitian untuk menemukan sumber baru inhibitor korosi terutama dari bahan alam mulai banyak dilakukan. Bahan alam dipilih sebagai alternatif karena bersifat aman, mudah didapatkan, bersifat *biodegradable*, biaya murah, dan ramah lingkungan (Ostovari dkk, 2009). Ekstrak bahan alam seperti tumbuhan dan buah mengandung banyak varietas organik terutama kandungan heteroatom seperti P, N, S, O atau memiliki ikatan rangkap. Unsur-unsur ini dapat teradsorpsi pada permukaan logam kemudian berikatan membentuk lapisan film yang dapat menghambat korosi (Ostovari dkk, 2009).

Penggunaan produk tumbuhan sebagai inhibitor korosi dibuktikan dengan senyawa fitokimia yang terkandung didalamnya dimana secara struktur elektrokimia dan molekuler mendekati sama dengan molekul inhibitor organik konvensional (Umoren dkk, 2011). Pada dasarnya mekanisme dari inhibitor adalah dengan mengadsorpsi ion atau molekul pada permukaan logam, dimana inhibitor tersebut mampu mengontrol reaksi elektrokimia (anodik serta katodik) serta dapat menciptakan suatu lapisan tipis (*film forming*) untuk menghambat proses korosi.

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Atria dkk, 2013, tumbuhan sarang semut (*Myrmecodia Pendans*) dapat diaplikasikan sebagai inhibitor.



Dalam penelitian tersebut digunakan pada lingkungan HCl 1M sedangkan material yang digunakan adalah API 5L *Grade B* dengan variasi konsentrasi inhibitor 0-500 mg/L (kelipatan 100 mg/L). Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi inhibitor yang paling efektif terdapat pada konsentrasi 500 mg/L dalam larutan elektrolit HCl 1M. Dalam penelitian yang telah dilakukan oleh Manggara, 2013, inhibitor sarang semut menggunakan material API 5L *Grade B* dalam media larutan 1M HCl dengan range konsentrasi inhibitor 0-500 mg/L. Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi inhibitor yang paling efektif terdapat pada konsentrasi 500 mg/L. Pada penelitian ini dilakukan percobaan dengan variasi konsentrasi inhibitor 0, 100, dan 500 mg/l pada lingkungan HCl 1M. Selain itu juga digunakan variasi agitasi 0,350, 700 rpm yang mewakili aliran laminar, transisi, dan turbulen. Material yang digunakan adalah API 5L *Grade B* dimana banyak digunakan dalam industri minyak dan gas.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang menjadi bahasan dalam penelitian berikut adalah :

1. Bagaimana pengaruh penambahan inhibitor sarang semut (*Myrmecodia Pendan*) di dalam media korosif HCl 1 M terhadap laju korosi baja karbon rendah API 5 L *Grade B* dengan konsentrasi 0 mg/l, 100 mg/l, 500 mg/l dan temperatur 30°C, 40°C, 50 °C.
2. Bagaimana mekanisme inhibisi dari inhibitor sarang semut (*Myrmecodia Pendan*) yang diaplikasikan pada baja karbon rendah API 5 L *Grade B* dalam media korosif HCl 1M dengan temperatur 30°C, 40°C, 50 °C.

1.3 Batasan Masalah



Dalam penelitian ini, perlu diberikan batasan masalah sebagai ruang lingkup dalam penelitian yaitu :

1. Komposisi kimia, dimensi, dan kehalusan permukaan tiap spesimen baja karbon API 5L Gr B dianggap homogen.
2. *Beaker Glass* dianggap kedap udara
3. Perubahan volume, temperatur, tekanan dan pH larutan elektrolit dianggap konstan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah sebagai berikut

:

1. Menganalisa pengaruh penambahan inhibitor sarang semut (*Myrmecodia Pendan*) di dalam media korosif HCl 1M terhadap laju korosi baja karbon rendah API 5 L *Grade B* dengan konsentrasi 0mg/l, 100mg/l, 500mg/l dengan temperatur 30°C, 40°C, 50 °C.
2. Menganalisa mekanisme inhibisi dari inhibitor sarang semut (*Myrmecodia Pendan*) yang diaplikasikan pada baja karbon rendah API 5L *Grade B* dengan temperatur 30°C, 40°C, 50 °C.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memperkaya kajian mengenai pemanfaatan inhibitor sarang semut (*Myrmecodia Pendan*) yang diaplikasikan pada baja karbon rendah khususnya dalam bidang industri.
2. Memberikan pengetahuan mengenai potensi inhibisi yang diperoleh dari ekstrak tumbuhan sarang semut (*Myrmecodia Pendan*) berdasarkan



kandungan yang dimiliki serta mekanisme proteksi terhadap korosinya yang diketahui melalui pengujian elektrokimia dan karakterisasinya.

3. Memberikan inspirasi kepada masyarakat untuk mengembangkan berbagai senyawa organik yang berasal dari tumbuh-tumbuhan sebagai zat penghambat korosi yang ramah lingkungan.
4. Menggali potensi sumber daya alam di Indonesia untuk dimanfaatkan sebagai alternatif pencegahan korosi pada aplikasi industri.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Korosi

Sering kita jumpai di dunia industri minyak dan gas alam terdapat berbagai saluran pipa yang menggunakan material dari besi maupun baja. Dalam industri minyak bumi dan gas alam penggunaan material pipa pada *pipeline* didominasi oleh pipa baja karbon. Pipa baja karbon mempunyai beberapa kelebihan yang diantaranya yaitu harganya lebih terjangkau dibandingkan dengan baja jenis lain seperti baja paduan, mudah diaplikasikan di lapangan dan memiliki sifat mekanik yang dapat diandalkan di lapangan. Adapun pengoperasian pipa pada *pipeline* di lapangan minyak bumi dan gas alam membutuhkan proteksi pada permukaan eksternal pipa, karena pipa pada *pipeline* kerap terekspos lingkungan dan cenderung berinteraksi dengan lingkungannya. Pada akhirnya, akan timbul korosi pada pipa *pipeline* tersebut (Rafferty, 1989).

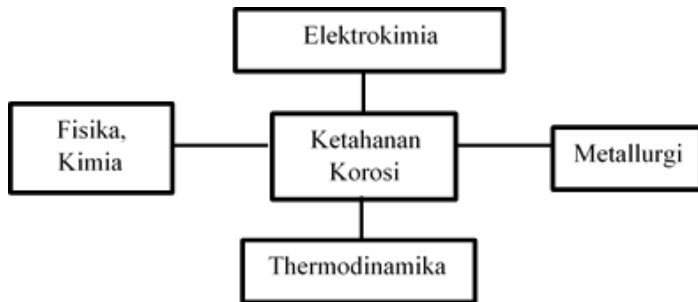
Definisi dari korosi itu sendiri adalah penurunan mutu dari suatu material diakibatkan adanya suatu reaksi dengan lingkungannya (Fontana; 1987: 4). Korosi merupakan degradasi suatu material yang disebabkan adanya reaksi kimia dengan material lainnya dan lingkungan (Jones; 1992). Akibat adanya reaksi korosi dari suatu material akan mengalami suatu perubahan sifat ke arah yang lebih rendah atau dapat dikatakan kemampuan dari material tersebut akan berkurang.

Korosi pada material logam dapat dibagi kedalam tiga kelompok utama, yaitu :

1. Korosi basah, dimana lingkungan yang bersifat merusak adalah air dengan jenis yang terlarut. Pada korosi ini zat cair bersifat elektrolit dan proses yang terjadi berupa elektrokimia.
2. Korosi pada fluida yang lain seperti pada lingkungan garam dan logam cair.
3. Korosi kering, dimana lingkungan yang bersifat merusak adalah gas kering. Korosi kering sering disebut juga sebagai korosi kimia dan salah satu contohnya adalah korosi pada temperatur tinggi (Menurut Bardal, 2003).



Ketahanan korosi suatu material dapat ditinjau dari berbagai aspek yaitu aspek metalurgi, aspek elektrokimia, aspek fisik dan kimia, aspek termodinamik (Sardjono, 2001). Faktor-faktor yang mempengaruhi ketahanan material terhadap korosi, yaitu :



Gambar 2.1 Faktor-faktor yang mempengaruhi ketahanan material terhadap korosi (Sardjono, 2001).

Korosi yang terjadi pada logam merupakan proses reaksi reduksi dengan oksidasi kimia maupun elektrokimia yang menyebabkan transfer electron dari logam ke lingkungan. Sehingga dapat menimbulkan terjadinya perubahan jumlah oksidasi logam dari nol menjadi bermuatan positif. Perusakan secara elektrokimia dari logam diukur saat terjadi aliran arus dari potensial tinggi ke potensial rendah. Selain itu juga dapat diketahui dengan adanya pergerakan elektron potensial rendah ke potensial tinggi. Sehingga dari proses tersebut akan mengakibatkan terjadi proteksi oleh elektron di permukaan katoda guna untuk menstabilkan yang ditandai dengan terjadi peluruhan anion di anoda.

Korosi merupakan penyebab utama dalam setiap analisa kegagalan pada pipa *pipeline*. Faktor yang mempengaruhi korosi antara lain adalah logam (struktur atom logam atau paduannya), komposisi, ketidak seragaman mikroskopik dan makroskopik,



tegangan, lingkungan (kondisi lingkungan seperti seperti sifat kimia, konsentrasi, pengotor, tekanan, temperatur, kecepatan, serta kondisi spesifik lainnya yang dapat mempengaruhi kecepatan dan bentuk korosi).

Dari berbagai fenomena korosi yang telah dijelaskan seperti di atas maka, beberapa perlu untuk diperhatikan dari fitur struktural suatu logam, lingkungan, dan reaksi yang terjadi pada *interface* logam maupun lingkungan. Berikut ini faktor penting yang terlibat dalam fenomena korosi :

1. Logam-komposisi adalah berupa struktur atom, heterogenitas mikroskopik maupun makroskopik, tegangan (tarik, tekan, berulang), dan lain lain.
2. Lingkungan-sifat kimia, konsentrasi reaktif, pengotor yang bersifat merusak, tekanan, temperatur, kecepatan, impingement, dan lain-lain.
3. *Interface* logam / lingkungan-kinetika oksidasi logam dan disolusi, kinetika reduksi *species* dalam larutan, sifat dan lokasi dari produk korosi, pertumbuhan lapisan dan disolusi lapisan, dan lain-lain.

Dari beberapa faktor yang sudah dijelaskan diatas, menunjukan bahwa mekanisme dari korosi logam adalah sesuatu yang sangat kompleks dan pemahaman mengenai berbagai fenomena korosi akan melibatkan banyak cabang ilmu murni dan terapan (Shreir, 1994). Maka dari itu, terjadinya peristiwa korosi terdapat beberapa elemen utama yang harus dipenuhi agar reaksi tersebut dapat berlangsung. Elemen-elemen utama tersebut adalah sebagai berikut (Mars G, 1987) :

a. Material

Dalam suatu peristiwa korosi, suatu material akan bersifat sebagai anoda. Anoda adalah suatu bagian dari suatu reaksi yang akan mengalami oksidasi. Akibat reaksi oksidasi, suatu logam akan kehilangan electron, dan senyawa logam tersebut berubah menjadi ion-ion bebas.



b. Lingkungan

Dalam suatu peristiwa korosi, suatu lingkungan akan bersifat sebagai katoda. Katoda adalah suatu bagian dari reaksi yang akan mengalami reduksi. Akibat reaksi reduksi, lingkungan yang bersifat katoda kan membutuhkan electron yang akan diambil dari anoda. Beberapa lingkungan yang dapat bersifat katoda adalah lingkungan air, atmosfer, gas, mineral *acid*, tanah dan, minyak.

c. Reaksi antara Material dan Lingkungan

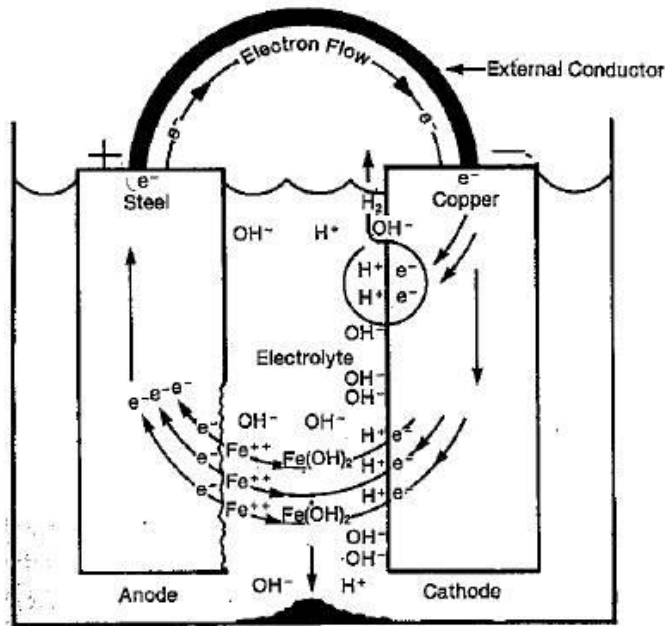
Adanya reaksi antara suatu material dengan lingkungannya merupakan suatu persyaratan yang sangat penting dalam terjadinya suatu peristiwa korosi. Reaksi korosi hanya akan terjadi jika terdapat hubungan atau kontak langsung antara material dan lingkungan. Akibat adanya hubungan tersebut, akan terjadi reaksi reduksi dan oksidasi yang berlangsung secara spontan.

d. Elektrolit

Untuk mendukung suatu reaksi reduksi dan oksidasi dan melengkapi sirkuit elektrik, antara anoda dan katoda harus dilengkapi dengan elektrolit. Elektrolit menghantarkan listrik karena mengandung ion-ion yang mampu menghantarkan *elektroquivalent force* sehingga reaksi dapat berlangsung.

2.2 Mekanisme Terjadinya Korosi

Mekanisme terjadinya korosi yang terjadi pada logam disebabkan adanya reaksi yang melibatkan dua reaksi setengah sel, yaitu reaksi oksidasi pada anoda dan reaksi reduksi pada katoda. Reaksi katoda dan anoda yang terjadi dalam suatu proses korosi adalah sebagai berikut (Jones, 1992). Korosi akan terjadi apabila terdapat empat komponen, yaitu anoda, katoda, larutan elektrolit sebagai media penghantar, adanya kontak metalik (Sulistijono, 1999).



Gambar 2.2 Sel Korosi Galvanik (Sulistijono, 1999).

- **Reaksi Anodik:**
Anoda akan mengalami reaksi oksidasi atau terkorosi dengan melepaskan electron. Anoda merupakan elektroda yang mempunyai potensial rendah. Anoda mengalirkan elektronnya via kontak metalik ke katoda, maka agar tidak kelebihan muatan positif, anoda terpaksa juga melepaskan proton (ion $+$) nya yang ke elektrolit. Dari gambar 2.1, ion positif tersebut (Fe^{2+}) bereaksi dengan ion negatif dari elektrolit (OH^-) membentuk endapan yang melekat di anoda sebagai karat $\text{Fe}(\text{OH})_2$ atau mengendap di elektrolit sehingga anoda berkurang massanya (terkorosi). Adapun reaksi anoda adalah reaksi oksidasi (melepas elektron).





Untuk besi :



1. Katoda

Katoda adalah elektroda yang mengalami reaksi reduksi dengan menggunakan electron yang dilepaskan oleh anoda. Karena katoda terjadi reaksi katodik, dimana electron akan berada di permukaan katoda dan bereaksi dengan ion positif dari electron, misalnya pada Gambar 2.1 H^{+} membentuk molekul H_2 yang berupa gelembung gas sehingga katoda akan terproteksi. Adapun reaksi reduksi (menerima elektron). Beberapa kemungkinan reaksi yang bisa terjadi :

- Reaksi katodik:
 - Pelepasan gas hidrogen : $2\text{H}^{+} + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{H}_2$
 - Reduksi oksigen (asam) : $\text{O}_2 + 4\text{H}^{+} + 4\text{e}^{-} \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$
 - Reduksi oksigen (basa) : $\text{O}_2 + 4\text{e}^{-} + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{OH}^{-}$
 - Reduksi ion logam : $\text{M}^{3+} + \text{e}^{-} \rightarrow \text{M}^{2+}$
 - Pendapan logam : $\text{M}^{+} + \text{e}^{-} \rightarrow \text{M}$ (mengendap)

2. Elektrolit

Suatu reaksi reduksi dan oksidasi dapat terjadi apabila antara anoda dan katoda terdapat larutan elektrolit. Elektrolit berfungsi menghantarkan arus listrik karena mengandung ion-ion yang mampu menghantarkan *elektroequivalen force* sehingga reaksi dapat berlangsung. Semakin banyak kandungan ion-ion dalam elektrolit maka semakin cepat elektrolit menghantarkan arus listrik. Beberapa lingkungan yang dapat bersifat katoda antara lain lingkungan air, atmosfer, gas, mineral *acid*, tanah dan minyak.

3. Kontak Metallik

Antara anoda dan katoda haruslah terdapat suatu hubungan atau kontak agar elektron dapat mengalir dari anoda menuju katoda.



2.3 Jenis – Jenis Korosi

Berbagai jenis korosi yang terjadi pada suatu material dapat dipengaruhi suatu keadaan lingkungan sekitarnya. Dimana jenis-jenis korosi yang umum terjadi diantaranya (Mario;2010) :

2.3.1 *Uniform Attack* (korosi merata)

Korosi uniform merupakan salah satu jenis korosi yang diharapkan terjadi pada logam. Pada korosi jenis ini, lingkungan korosif harus memiliki akses yang sama terhadap seluruh permukaan logam. Karakteristik utama dari korosi uniform yaitu salah satu jenis korosi dengan adanya reaksi kimia atau elektrokimia yang terjadi di suatu permukaan logam yang berjalan secara seragam pada semua permukaan yang terekspose pada lingkungan.



Gambar 2.3 Korosi Uniform (Mario;2010)

Korosi yang biasanya terjadi pada permukaan logam akibat reaksi kimia dikarenakan oleh pH air yang rendah dan udara yang lembab, maka dari itu ketebalan logam akan semakin menipis. Hal ini, sering terjadi pada pelat baja atau



profil, logam homogen. Korosi ini dapat dicegah dengan cara :

1. Pemilihan material yang tepat (semakin murni bahan semakin tahan korosi)
2. Pelapisan
3. Penambahan inhibitor (media elektrolit)
4. Penambahan elemen paduan pada logam
5. Proteksi katodik

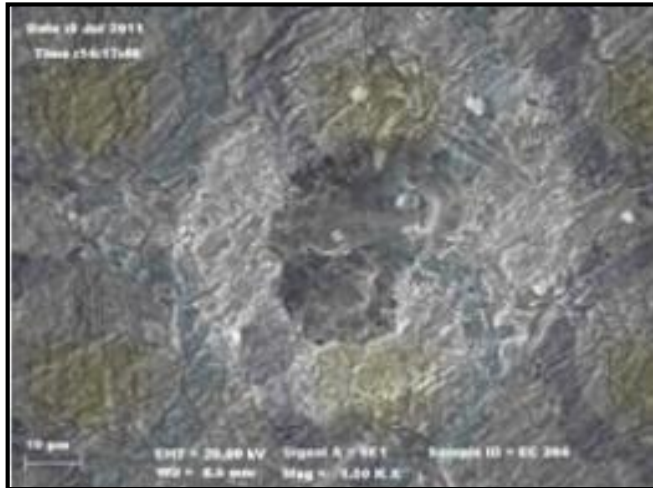
Pencegahan korosi dapat dilakukan dengan cara :

- a. Untuk lambung kapal diberi katodik
- b. Pemeliharaan material yang tepat
- c. Untuk jangka pemakaian yang lebih panjang diberi logam berpaduan tembagan 0,4%

2.3.2 *Pitting corrosion* (korosi sumur)

Korosi sumuran di area anoda yang terdapat di permukaan logam terlokalisasi pada suatu tempat sehingga korosi yang terjadi hanya terdapat di daerah tersebut. Dimana seluruh gaya pendorong korosi terkonsentrasi di daerah anoda sehingga laju korosi terjadi lebih cepat dibandingkan dengan laju korosipermukaan logam secara keseluruhan.

Korosi sumuran merupakan suatu bentuk reaksi yang memiliki sifat autokatalik. Dimana proses korosi ini terjadi pada sumur yang menciptakan kondisi yang mempercepat korosi dan diperlukan adanya pertumbuhan dari sumur tersebut. Logam larut dengan sangat cepat pada sumur, sedangkan oksigen tereduksi di daerah sekitarnya. Pelarutan logam tersebut mengakibatkan migrasi ion klorida ke dalam celah, seperti contoh gambar dibawah ini:



Gambar 2.4 Korosi Sumuran Yang Terjadi Pada SS 304 dengan Pengenceran *E.Coli* (Syohan, dkk, 2007)

Korosi sumuran terjadi akibat serangan dari lokasi setempat oleh suatu media tertentu seperti lingkungan yang mengandung klorida, ion-ion Fe^{3+} , Cu^{2+} dan Cl^- dan juga larutan yang mengandung bakteri pereduksi sulfat secara terus menerus. Korosi ini biasanya berbentuk sebuah titik pada permukaan logam tetapi menjalar membentuk sebuah celah ke dalam seperti sumur. Korosi ini sering terjadi di daerah-daerah yang tersembunyi karena cenderung terjadi di bawah deposit dan di dalam celah. Bentuk sumur ini tergantung pada laju dari pertumbuhan korosi. Korosi jenis ini dapat dicegah dengan cara :

- a. Pilih bahan yang homogen
- b. Diberikan inhibitor
- c. Diberikan coating dari zat agresif

2.3.3 *Errosion Corrosion* (korosi erosi)

Korosi jenis ini terjadi akibat kecepatan tinggi, turbulensi, *impingment*, dan sebagainya. Gerakan fluida di atas permukaan



logam semakin cepat maka semakin hilangnya kekuatan pada permukaan logam yang mengakibatkan timbulnya keausan, dan akhirnya terjadi korosi. Suatu korosi erosi dapat terjadi akibat adanya pergerakan relative Antara fluida korosif dengan suatu permukaan logam. Dimana sering kali, pergerakan terjadi dalam selang waktu yang cukup cepat, sehingga mengakibatkan keausan mekanisnya atau sering disebut juga dengan mengalami abrasi. Pergerakan yang cepat ini menimbulkan erosi secara fisik yang ditimbulkan dari fluida korosif yang dapat menghilangkan lapisan pasifnya. Pasir dan padatan lumpur dapat mempercepat korosi erosi.

Korosi ini umumnya berwujud pada lekukan dangkal dengan dasar yang halus. Contoh tempat yang sering, terjadi korosi jenis ini dalah belokan dan siku dari pipa. Kavitasi dan *fretting corrosion* adalah salah satu bentuk dari korosi ini. Kavitasi disebabkan oleh pecahnya gelembung-gelembung uap air pada permukaan gelombang, yang dapat merusak logam. Sedangkan *fretting corrosion* adalah korosi erosi yang disebabkan pergeseran yang merupakan akibat dari vibrasi. Korosi jenis ini dapat dicegah dengan cara :

- a. Pilih bahan yang homogen
- b. Diberi coating dari zat agresif
- c. Diberikan inhibitor
- d. Hindari aliran fluida yang terlalu deras

2.3.4 Galvanic corrosion (korosi galvanik)

Korosi galvanic yaitu korosi yang terjadi akibat adanya dua logam yang memiliki beda potensial yang berbeda dan saling terhubung secara elektrik, atau terhubung di dalam suatu elektrolit. Dimana logam yang memiliki potensial lebih positif dalam deret galvanic akan menjadi katoda, sedangkan logam yang lebih negative dalam deret galvanic menjadi anoda. Yang kemudian, korosi pada anoda terjadi lebih cepat sedangkan korosi dikatoda akan terhambat bias juga berhenti (laju korosi mendekati nol).



Gambar 2.5 Korosi Galvanik (Mario;2010)

Korosi ini terjadi ketika dua metal yang berbeda Deret Galvanis-nya mengalami kontak fisik dan berbeda pada media/larutan yang konduktif dan korosif. Timbulnya beda potensial menyebabkan terjadinya aliran arus listrik atau perpindahan electron. Pada korosi ini apabila dua buah logam yang berbeda jenis dalam keadaan terkontak (dihubungkan dengan suatu penghantar) dan keadaan tersebut terjadi pada lingkungan yang konduktif (lingkungan asam, air). Perbedaan potensial yang terjadi akaibat dua logam yang berbeda menghasilkan gaya untuk mengalirkan listrik sehingga korosi pun terjadi. Semakin besar perbedaan potensial keduanya maka makin besar kemungkinan terjadinya korosi. Korosi ini dapat dicegah dengan cara :

- a. Beri isolator yang cukup tebal hingga tidak ada aliran elektrolit
- b. Pasang proteksi katodik
- c. Penambahan anti korosi inhibitor pada cairan

2.3.5 *Stress corrosion* (korosi tegangan)

Korosi berbentuk retakan-retakan yang tidak mudah



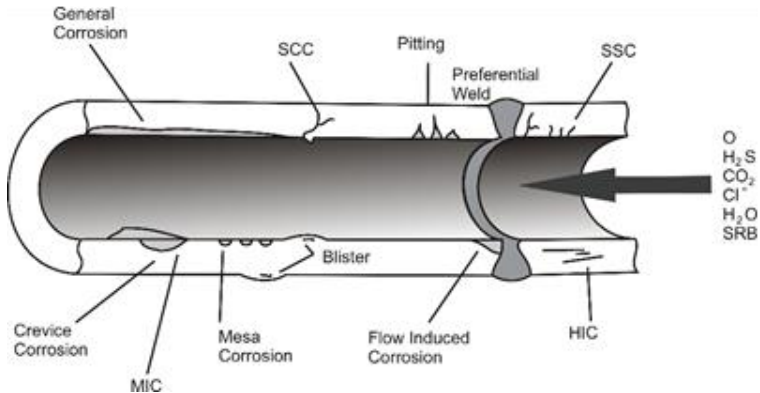
dilihat, terbentuk dipermukaan logam dan berusaha menjalar ke dalam. Hal ini, terjadi dikarenakan logam-logam yang banyak mendapatkan tekanan. Ini bias terjadi dikarenakan kombinasi dari tegangan Tarik dan lingkungan yang bersifat korosif sehingga struktur logamnya melemah. Korosi logam ini merupakan akibat adanya aksi gabungan antara, tegangan dan tekan (*tensile strength*) yang didukung dengan adanya lingkungan yang korosif. Korosi ini sangat berbahaya karena sebagian besar alloys sangat mudah terpengaruh oleh *stress corrosion cracking* (SCC).

Mekanisme terjadinya korosi ini dimulai dari adanya tegangan dalam sisa atau tegangan dari luar. Awal retakan bisa berasal dari korosi sumuran yang akhirnya berkembang menjadi SCC. Karakteristik SCC adalah sebagai berikut:

- SCC memerlukan suatu tegangan dan tekanan, bila berada di bawah nilai batas tegangan (*threshold stress*) maka craking tidak terjadi.
- Secara makro, retak terlihat seperti rapuh (brittle) yang merusakkan sifat mekanik logam.
- Korosi tegangan tergantung pada kondisi metallurgi dari paduan tersebut.
- SCC dapat terjadi pada lingkungan yang cukup baik (tidak memungkinkan terjadi korosi) untuk baja atau paduan.

Korosi jenis ini dapat dicegah dengan cara :

- a. Diberi inhibitor
- b. Apabila ada logam yang mengalami stress maka logam harus direlaksas



Gambar 2.6 Bentuk-bentuk korosi internal (Roberge,2000)

2.3.6 Crevice corrosion (korosi celah)

Korosi celah adalah serangan korosi yang terjadi karena sebagian permukaan logam terhalang dari lingkungan dibanding bagian lain yang terpapar elektrolit dalam volume yang besar. Biasanya terjadi pada sambungan dari 2 jenis material, khususnya pada lap joints dan sekrup. Selain itu juga terjadinya pada logam pasif akibat dari kerusakan lapisan oksida pelindung dari logam. Korosi juga bias terjadi akibat adanya konsentrasi senyawa korosif pada bagian permukaan logam. Dalam hal ini, biasanya konsentrasi terjadi akibat dari adanya celah yang sangat kecil Antara dua permukaan logam. Korosi celah ini pada lingkungan di sekitar kita sering sekali menyerang pada daerah yang sempit atau celah-celah diantara dua bidang. Pada celah biasanya merupakan tempat terkonsentrasinya media lingkungan. Jika media tersebut adalah media korosif dan penumpukan konsentrasi berlangsung dalam jangka waktu yang lama maka akan mengakibatkan korosi. Korosi celah dapat kita ketahui dari beberapa tanda yang akan menyebabkan korosi ini terjadi, antara lain:

- a. Perubahan keasaman tanah.



- b. Kekurangan oksigen pada celah tersebut.
- c. Terbentuknya ion-ion yang merugikan (concentration cell) pada celah, misalnya Cl.
- d. Menurunnya kadar inhibitor dalam celah.

Korosi ini dapat dicegah dengan cara :

- a. Isolator
- b. Dikeringkan bagian yang basah
- c. Dibersihkan kotoran yang ada

2.3.7 Korosi mikrobiologi

Korosi yang terjadi diakibatkan oleh adanya mikroba atau bakteri (microbially-induced korosi / MIC) karena mikroba Mikroorganisme yang mempengaruhi korosi antara lain bakteri, jamur, alga dan *protozoa*. Korosi ini bertanggung jawab terhadap degradasi material di lingkungan. Pengaruh laju korosi di suatu area, mikroorganisme umumnya berhubungan dengan permukaan korosi kemudian menempel pada permukaan logam dalam bentuk lapisan tipis. Pembentukan lapisan tipis saat 2 – 4 jam pencelupan sehingga membentuk lapisan ini terlihat hanya bintik-bintik dibandingkan menyeluruh di permukaan. Korosi jenis ini dapat dicegah dengan cara :

- a. Memilih logam yang tepat untuk suatu lingkungan dengan kondisi-kondisinya
- b. Memberi lapisan pelindung agar lapisan logam terlindungi dari lingkungannya
- c. Memperbaiki lingkungan supaya tidak korosif
- d. Perlindungan secara elektrokimia dengan anoda korban atau arus tandingan
- e. Memperbaiki konstruksi agar tidak menyimpan air, lumpur dan zat korosif lainnya.



2.3.8 Fatigue corrosion (korosi lelah)

Korosi ini terjadi karena logam mendapatkan beban siklus yang terus berulang sehingga semakin lama logam akan mengalami patah karena terjadi kelelahan logam. Korosi ini biasanya terjadi pada turbin uap, pengeboran minyak dan propeller kapal. Korosi jenis ini dapat dicegah dengan cara :

- a. Menggunakan inhibitor
- b. Memilih bahan yang tepat atau memilih bahan yang kuat korosi
- c. Memilih bahan yang tepat atau memilih bahan yang kuat korosi

2.4 Jenis Korosi Menurut Lingkungan

2.4.1 Korosi di Lingkungan Tanah

Tanah tersusun dari mineral, bahan organik, air, dan gas (udara). Komposisi penyusun tersebut tergantung pada jenis tanah. Sifat dan karakteristik tanah berbeda-beda di setiap kedalaman. Korosi di tanah merupakan fenomena yang kompleks, dimana banyak variabel yang terlibat, antara lain; air, kandungan oksigen, pH, potensial redoks, resistivitas, ion yang terlarut, dan aktivitas biologis. Klasifikasi tingkat korosi oleh tanah ditunjukkan dalam tabel 2.1.

Tabel 2.1 Klasifikasi Korosi Tanah berdasarkan Resistivitas

Resistivitas, Ohm-cm	Klasifikasi Korosi
Sampai - 700	Sangat korosif
700 - 2000	Korosif
2000 - 5000	Korosif Sedang
5000 - 10000	Korosif Ringan
lebih dari 10000	Tidak Korosif



2.4.2 Korosi Lingkungan Air Laut

Air laut merupakan salah satu lingkungan yang tingkat korosifitasnya tinggi. Hal ini karena dalam air laut terdapat berbagai macam ion elektrolit, seperti ion klorida, natrium (penyusun utama air laut), sulfat, magnesium, kalsium, karbonat, dll. Dibawah ini terdapat faktor-faktor laju korosi pada air laut.

Tabel 2.2 Faktor Merubah Laju Korosi Pada Air Laut

Kimiawi	Fisik	Biologis
Dissolved gases: ✓ Oksigen ✓ CO ₂	Velocity ✓ Air Bubles ✓ Suspenden Silt	Biofouling
Kesetimbangan Kimia: ✓ Salinity ✓ pH ✓ Kandungan Karbonat	Temperature	Plant life
	Tekanan	Animal life

2.4.3 Tempat-Tempat Terjadinya Korosi Pada Produksi Minyak

Masalah korosi yang terjadi dilapangan produksi minyak yang sering terjadi adalah:

1. *Down Hole Corrosion*
High fluid level pada jenis pompa angguk di sumur minyak dapat menyebabkan terjadinya *stress* pada rod bahkan dapat pula terjadi *corrosion fatigue*. Pemilihan material untuk peralatan *bottom hole pump* menjadi sangat penting. Pompa harus dapat tahan terhadap sifat-



- sifat korosi dari fluida yang diproduksi dan tahan pula terhadap sifat abrasi.
2. *Flowing Well*
Anulus dapat pula digunakan untuk mengalirkan inhibitor ke dasar *tubing* dan memberikan proteksi pada tabung dari kemungkinan bahaya korosi. Pelapisan dengan plastik dan memberikan inhibitor untuk proteksi *tubing* dapat pula digunakan pada internal *tubing surface*.
 3. *Casing Corrosion*
Casing yang terdapat di sumur-sumur produksi bervariasi dari yang besar sampai yang *consentric acid*. Diperlukan perlindungan katodik untuk external casing. Korosi internal *casing* tergantung dari komposisi *annular fluid*.
 4. *Well Heads*
Peralatan dari *well heads* terutama pada well gas tekanan tinggi, sering mengalami korosi yang disebabkan oleh kecepatan tinggi dan adanya turbulensi dari gas.
 5. *Flow Lines*
Adanya akuntansi dari deposit di dalam *flow line* dapat menyebabkan korosi dan *pitting* yang akhirnya menyebabkan kebocoran. Internal corrosion di dalam *flow line* dapat dicegah dengan inhibitor.

2.5 Faktor Penyebab Korosi

Faktor penyebab yang memungkinkan menyebabkan terkorosinya suatu logam meliputi :

a. Efek Komposisi Kimia

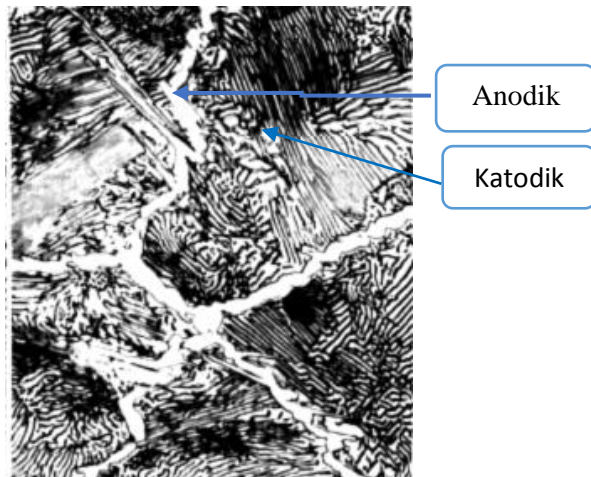
Komposisi kimia dalam baja karbon dan baja paduan rendah secara praktikal tidak memberikan efek pada laju korosi dalam *natural water* atau tanah. Hantetapi jika dipadukan dengan proporsi *stainless steel* ($Cr > 12\%$) atau paduan *high silicon-iron* atau *high nickel-iron*, maka mampu menimbulkan masalah korosi yang cukup besar. Meskipun kandungan karbon tidak memiliki efek pada laju korosi pada larutan, namun laju korosi meningkat lebih sedikit (maksimum 20%) bila kandungan karbon ditingkatkan dari 0,1-0,8%. Peningkatan laju korosi sangat



penting dihubungkan terhadap reaksi evolusi hidrogen dalam bentuk larutan klorida (membentuk senyawa kompleks Fe^{2+} dengan Cl^-). Dalam larutan asam, laju korosi meningkat dengan kehadiran karbon dan hidrogen dalam baja. Tingkat kenaikan laju korosi sebagian besar tergantung dari perlakuan panas dan akan lebih besar pada baja yang mengalami pengerjaan dingin. Unsur arsen dapat meningkatkan laju korosi dalam asam. Namun apabila Ar yang ditambahkan cukup besar (0,2% Ar), dapat menurunkan laju korosi.

b. Efek Struktur Mikro

Proses perlakuan panas atau *heat treatment* juga menimbulkan ketidak seragaman mikrostruktur dalam suatu material. Di dalam struktur mikro suatu material, ada kemungkinan terjadi korosi galvanis yang terdapat di antara butir dan batas butir. Gambar 2.7 menunjukkan fenomena korosi galvanik dalam struktur mikro.



Gambar 2.7 Sel Galvanis Mikro (Eddie Mooney, 1996)



Korosi galvanik dapat terjadi pada paduan polikristalin, contohnya adalah baja perlitik. Perbedaan struktur mikro dapat menyebabkan sel galvanis mikro. Pada fasa perlit misalnya, sel galvanik terjadi antara ferit dan sementit karena masing-masing fasa memiliki energi bebas dan potensial yang berbeda. Perbedaan inilah yang menyebabkan terbentuknya anoda dan katoda yang dapat mengakibatkan korosi.

a. Efek Deformasi Plastik

Terkait dengan adanya perubahan morfologi mikrostruktur pada suatu material, maka akan mempengaruhi sifat dasar material. Salah satunya yaitu perubahan terhadap ketahanan korosinya. Perubahan struktur mikro mengakibatkan terjadinya perubahan kerapatan dislokasi dan perubahan distorsi dalam atom. Pemberian deformasi ini akan meningkatkan besarnya tegangan yang dimiliki karena semakin rapatnya dislokasi yang merupakan cacat kristal.

b. Efek Perlakuan Pada Suatu Material

Banyaknya sifat mekanis material yang dapat ditingkatkan dengan berbagai macam perlakuan panas. Tetapi beberapa sifat seperti kekerasan dan kekuatan sering dicapai dengan mengorbankan ketahanan korosinya. Pada proses seperti pengerjaan dingin, dimana material secara plastis berubah menjadi bentuk yang diinginkan. Pengerjaan dingin juga dapat menghasilkan tegangan sisa yang dapat membuat material rentan terhadap *stress corrosion cracking*. Dalam hal ini, untuk meningkatkan ketahanan korosi dapat dicapai dengan melakukan *annealing* pada temperatur dimana rekristalisasi butir terjadi. *Anneal* sebagian dapat menyebabkan terjadinya *stress relief* tanpa efek besar pada keseluruhan kekuatan material.

c. Efek Komposisi Air pada Lingkungan

Terkorosinya logam selain tergantung dari faktor perlakuan panas juga tergantung pada komposisi air yaitu:

1. Konduktivitas air



- Korosivitas air akan meningkat bersama dengan peningkatan konduktivitas dari air tersebut.
2. pH air
Korosivitas air biasanya meningkat sejalan dengan penurunan pH air (akan menjadi lebih asam).
 3. Kelarutan Gas
Oksigen, karbondioksida, atau hidrogen sulfida jika terlarut dalam air akan menaikkan korosivitas secara drastis.

d. Efek Komposisi Paduan

Baja merupakan obyek yang utama digunakan dalam *oilfield* sehingga perlu dipelajari secara mendetail bagaimana air dapat mengkorosi baja. Beberapa jenis baja yang digunakan dalam *oilfield*, seperti *low carbon steel* yang digunakan dalam operasi produk untuk *pipeline*, dan *tubing*. Berikut merupakan jenis paduan yang terdapat di dalam material baja, diantaranya :

1. Nikel
Nikel dalam jumlah yang stabil akan menstabilkan struktur austenite yang akan meningkatkan sifat mekanik dan karakteristik fabrikasi. Nikel sangat efektif dalam memperbesar daerah pasif terutama dalam lingkungan reduktif. Selain itu dapat berfungsi dalam meningkatkan ketahanan korosi pada lingkungan asam material.
2. Kromium
Kromium merupakan salah satu paduan yang harus ada dalam pembentukan lapisan pasif. Lapisan pasif dapat terbentuk dengan adanya kromium 10,5%. Sedangkan baja tahan karat austenitik mengandung 17-20% Cr sehingga lapisan pasif yang terbentuk lebih tebal sehingga lebih tahan korosi pada lingkungan yang korosif. Kromium akan membentuk lapisan pasif yang tebalnya tergantung pada jumlah kromium yang ditambahkan.
3. Molibdenum



Molibdenum sangat berperan aktif dalam ketahanan korosi terutama korosi sumuran (*pitting*) dan korosi celah (*crevice*). Karena dengan adanya molibdenum dapat menggeser daerah aktif pasif baja pada daerah rapat arus yang lebih kecil.

4. Mangan

Mangan memiliki fungsi yang hampir sama dengan nikel. Kelebihan mangan secara mekanik yaitu membentuk baja tahan karat yang tahan abrasi. Namun kelemahannya yaitu sangat rentan untuk berinteraksi dengan lingkungan yang mengandung sulfur dan membentuk senyawa mangan sulfida.

5. Tembaga

Tembaga dapat meningkatkan ketahanan korosi atmosferik pada baja paduan jika kadarnya lebih besar dari 0,2%. Pada baja tahan karat austenitik, kadar Cu di atas 1% mampu meningkatkan daya tahan terhadap H_2SO_4 dan HCl serta *stress corrosion cracking*.

e. Efek Solidifikasi Logam

Pada pembekuan logam selama pengecoran, atom-atom terdistribusi secara acak dalam air, atom-atom tersusun dalam susunan kristalin. Keadaan ini biasanya diawali pada beberapa titik di dalam cairan, dan blok-blok kristal atau butir bertemu, terdapat ketidak seimbangan pada batas-batas butir. Batas butir merupakan daerah dengan energi terbesar dan secara kimiawi lebih aktif. Karena itu, batas butir biasanya diserang sedikit lebih cepat dibandingkan permukaan butir bila terekspos oleh lingkungan. Logam yang sangat murni lebih tahan korosi dibandingkan logam paduan.

f. Efek Metalurgis

Dilihat dari efek yang dapat menyebabkan terkorosinya suatu logam dari efek metalurgis, diantaranya :



- a. Secara umum, adanya perbedaan ukuran butir, dimana butir dengan ukuran yang lebih kecil bersifat lebih anodik.
- b. Perbedaan komposisi kimia logam.
- c. Terjadinya inklusi pada saat pembuatan logam.
- d. Terjadinya pengendapan pada batas butir, banyak dijumpai pada baja tahan karat akibat proses pengelasan sehingga baja ini mengalami sensitasi.
- e. Pengelasan yang tidak sempurna.
- f. Pengaruh perlakuan panas.
- g. Penambahan unsur paduan.

g. Efek Kadar Karbon

Karbon merupakan unsur utama yang terkandung di dalam baja dan mempunyai pengaruh besar pada baja dengan membentuk karbida Fe_3C (sementit) dengan kekerasan tinggi. Penambahan kadar karbon akan meningkatkan kekuatan maupun kekerasan baja. Hal ini dikarenakan kadar karbon sangat berpengaruh sekali terhadap kekerasan martensit. Tetapi, keuletan dan kemampuan mampu tempa, las dan fabrikasi baja akan menurun. Dilihat dari segi ketahanan korosinya, dengan semakin banyak kadar karbon yang terkandung dalam baja, maka sifat ketahanan korosinya semakin meningkat.

h. Efek Ukuran Butir

Perbedaan ukuran butir juga akan mempengaruhi sifat tahan korosi pada logam. Pada umumnya, butiran yang lebih kecil bersifat lebih anodik. Hal ini dikarenakan, semakin kecilnya ukuran butir maka batas butir yang terdapat dalam logam tersebut akan semakin banyak. Tepat di sisi lain terdapat suatu anomali yang menyatakan bahwa semakin kecilnya ukuran butir, maka sifat tahan korosinya akan semakin meningkat. Hal ini dikarenakan dengan semakin kecilnya ukuran butir, maka jarak pita slip dapat dikurangi sehingga bidang slip (bidang yang paling padat) akan bersifat lebih homogen. Slip yang homogen



menyebabkan pengurangan perpindahan hidrogen ke batas butir yang kehadirannya dapat menyebabkan terjadinya *cracking* karena adanya pergerakan dislokasi. Jadi ketahanan terhadap SCC dapat meningkat dengan tidak terjadinya perapuhan hidrogen atau HIC.

2.6 Pengendalian korosi

Memilih logam atau paduan harus dengan tepat sehingga pertukaran ion dengan lingkungannya tidak berlangsung dengan cepat atau dengan kata lain memilih logam atau paduannya yang perbedaan potensialnya dengan lingkungan tidak terlalu besar. Jika lingkungannya relatif agresif wajib memilih logam atau paduannya yang memiliki ketahanan korosi lebih baik dari baja. Hal ini disebabkan oleh aspek logam pada lingkungan tersebut membentuk lapisan tipis yang memiliki sifat protektif dan memiliki kemampuan untuk membentuk lapisan tipis lagi apabila lapisan tersebut terkelupas. Aplikasi dari metode ini sangat erat kaitannya dengan potensial galvanis dari logam yang digunakan dan tentunya berhubungan dengan elektrolit atau lingkungan disekitar logam.

2.6.1 Pelapisan (*Coating*)

Salah satu cara pengendalian korosi adalah dengan cara memberi lapisan perlindungan (*coating protection*). Proteksi lapisan yang lazim digunakan pada perpipaan adalah eksternal pelapisan yang sering kali dikombinasi dengan proteksi katodik. Untuk korosi bagian dalam pipa (internal korosi) pengendaliannya lebih sulit. Jika terjadi kebocoran atau kegagalan umumnya lebih merata sepanjang jaringan yang berhubungan dengan korosi bagian luar. Pelapisan biasanya dimaksudkan untuk memberikan suatu lapisan padat dan merata sebagai bahan isolator atau penghambat aliran listrik diseluruh permukaan logam yang dilindungi. Fungsi dari lapisan tersebut adalah untuk mencegah logam dari kontak langsung dengan elektrolit dan lingkungan sehingga reaksi logam dan lingkungan terhambat.



2.6.2 Proteksi katodik

Proteksi katodik dilakukan untuk mengurangi atau menghentikan laju korosi pada logam dengan cara *impressed current* (arus paksa). Proses ini dilakukan dengan memanfaatkan sumber arus DC (arus searah) yang dihasilkan dari suatu pembangkit atau *rectifier*. Selain menggunakan *impressed current*, proteksi katodik juga biasanya menggunakan *sacrificial anode* (anoda tumbal). Proteksi katodik dapat dilakukan dengan dua cara yaitu sebagai berikut :

- a) Metode Anoda Tumbal (*Sacrificial Anode Method*);
- b) Metode Arus Terpasang (*Impressed Current Method*).

Prinsip kerjanya adalah logam yang akan diproteksi diatur agar berperan sebagai katoda dalam suatu sel korosi dan pasangan yang ditempelkan adalah logam lain yang memiliki *potensial electrode* yang lebih negatif sehingga berperan sebagai anoda. Pada proteksi katodik dengan menggunakan metode anoda tumbal, menggunakan konsep tentang sel korosi basah, bahwa dalam suatu sel elektrokimia, yang terkorosi adalah anoda. Sedangkan katoda adalah yang terproteksi. Jika kita mengatur agar struktur tersebut bertindak sebagai katoda dalam suatu sel korosi, struktur tidak akan mengalami korosi. Meskipun demikian, terkadang katoda dapat rusak bila kerapatan arus terlalu besar. Kerapatan arus yang terlalu besar menimbulkan kerusakan pada lapisan cat, tetapi perapuhan logam oleh hidrogen (Sulistyo, 2002).

2.6.3 Proteksi Anodik

Pengendalian korosi dengan sistem ini tidak bisa diterapkan pada sembarang logam, hanya logam-logam tertentu saja yang memiliki zona pasif yang diproteksi dengan metode ini. Prinsip pengendalian dari sistem ini adalah dengan mengatur potensial agar selalu berada pada di zona pasif, sehingga laju korosi terhalang oleh adanya lapisan pasif sebagai pelindung terhadap kontak langsung antara logam dengan elektrolit



(pasivasi). Laju korosi dapat diartikan banyaknya logam yang dilepas tiap satuan waktu pada permukaan tertentu. Laju korosi biasanya dinyatakan dengan satuan *mils per year* (mpy) (Fontana, 1987).

Dari hasil pengujian dengan metode EIS data-data yang dapat diolah untuk menghasilkan kurva yang memperlihatkan karakteristik dari mekanisme adsorpsi inhibitor pada permukaan logam yang disebut kurva isoterm adsorpsi langmuir. Apabila proses inhibisi mengikuti mekanisme isoterm adsorpsi langmuir, maka kurva perbandingan $\frac{\theta}{C_{inh}}$ terhadap θ yang terbentuk berupa garis lurus (Parameswari K., 2010)

$$\theta = \frac{i_o - i_{inh}}{i_o} \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan :

- θ = derajat penutupan permukaan
- i_o = kerapatan arus korosi tanpa inhibitor (Ma/cm^2)
- i_{inh} = kerapatan arus korosi terinhibisi

Derajat inhibisi yang digunakan untuk menghitung koefisien adsorpsi b yang merupakan tetapan kesetimbangan adsorpsi, K_{ads} , untuk kurva adsorpsi yang sesuai dengan isoterm adsorpsi langmuir

$$b = \frac{\theta}{C_{inh} (1 - \theta)} \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan :

- C_{inh} = konsentrasi inhibitor
- I_0 = koefisien adsorpsi

Adapun tetapan adsorpsi yang berhubungan dengan energi bebas adsorpsi diberikan oleh persamaan berikut (Wahyuningrum, 2008)

$$K_{ads} = \frac{1}{55.55} \exp \left[-\frac{\Delta G^\circ}{RT} \right] \dots \dots \dots (2.3)$$



Keterangan :

K_{ads} = tetapan kesetimbangan adsorpsi

G°_{ads} = energi bebas adsorpsi (Kj/mol)

R = tetapan gas ideal (8,314 J/mol)

T = temperatur (K)

Faktor-faktor yang mempengaruhi laju korosi antara lain (Pierre, 2000) :

1. Jenis logam dan struktur makroskopis logam
2. Komposisi dan konsentrasi larutan elektrolit yang biasanya dipengaruhi oleh Konduktivitas larutan dan pH larutan.
3. Gas terlarut
4. Temperatur
5. Tekanan
6. Aliran fluida

Pada umumnya, masalah korosi disebabkan oleh air, tetapi ada beberapa faktor selain air yang juga banyak mempengaruhi laju korosi diantaranya:

1. Faktor Temperatur

Dengan peningkatan temperatur maka akan menyebabkan tingkat energi molekul pada permukaan logam mengalami persaingan antara gaya adsorpsi dengan gaya desorpsi dari logam (Eddy, 2008). Laju korosi yang meningkat dapat dipelajari dari energi pengaktifan dari Arrhenius:

$$K = A \exp \left[-\frac{E_a}{RT} \right] \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana,

K : tetapan laju reaksi,

A : faktor pra-eksponensial

E_a : energi aktivasi

R : tetapan gas ideal

T : temperatur mutlak.



2. Faktor pH

pH netral adalah 7, sedangkan $\text{pH} < 7$ bersifat asam dan korosif, dan untuk $\text{pH} > 7$ bersifat basa juga korosif. Tetapi untuk besi, laju korosi rendah pada pH antara 7 sampai 13. Laju korosi akan meningkat pada $\text{pH} < 7$ dan $\text{pH} > 13$.

3. Faktor *Sulfat Reducing Bacteria* (SRB)

Adanya bakteri pereduksi sulfat akan mereduksi ion sulfat menjadi gas H_2S , yang mana jika gas tersebut kontak dengan besi akan menyebabkan terjadinya korosi.

4. Faktor Padatan Terlarut

Klorida (Cl), klorida menyerang lapisan mild steel dan lapisan stainless steel. Padatan ini menyebabkan terjadinya pitting, crevice corrosion dan juga menyebabkan pecahnya alloys. Klorida biasanya ditemukan pada campuran minyak-air dalam konsentrasi tinggi yang akan menyebabkan campuran minyak-air dalam konsentrasi tinggi yang akan menyebabkan proses korosi. Proses korosi juga dapat disebabkan oleh kenaikan konduktivitas larutan garam, dimana larutan garam yang lebih konduktif laju korosinya juga akan lebih tinggi.

5. Faktor Laju Aliran

Pengaruh dalam perpindahan aliran, distribusi, dan pencampuran fluida dalam sistem aliran. Variabel yang menjadi kunci dalam pengaruh aliran terhadap korosi adalah turbulensi. Turbulensi yang tinggi dapat mengakibatkan induksi-arus korosi, erosi-korosi, atau kavitasi. Turbulensi rendah dapat mengakibatkan korosi dalam fasa air dipisahkan dan memungkinkan kejadian tersebut terkorosi dibawah deposit dan atau dipisahkan oleh air. Penekanan pada aliran dalam pipa karena aliran pipa adalah lokasi sebagian besar dalam masalah induksi-aliran korosi. Ketika fluida mengalir diatas permukaan padat, aliran dikategorikan sebagai aliran laminar atau aliran turbulen. Situasi yang sering terjadi yaitu dimana pengaruh aliran



fluida dalam proses pengkorosian sangat penting, aliran turbulen; sehingga struktur fisik dari aliran turbulen menjadi pertimbangan utama.

2.7 Perhitungan Laju Korosi

Untuk mengukur laju korosi terdapat beberapa metode yaitu kinetika (*weight loss*) dan elektrokimia (diagram polarisasi, electrochemical impedance spectroscopy). Pada tabel 2.3 berikut dapat dilihat hubungan dari laju korosi dengan ketahanan korosi relatif (Denny A, 1992).

Tabel 2.3 Hubungan Laju Korosi dan Ketahanan Korosi

Ketahanan Korosi	Laju Korosi				
	mpy	mm/yr	$\mu\text{m/yr}$	nm/hr	pm/s
Sangat baik	< 1	< 0,02	< 25	< 2	< 1
Baik	1 - 5	0,02 – 1	25 – 100	2 – 10	1 – 5
Cukup	5 – 20	0,1 – 0,5	100 - 500	10 – 50	5 - 20
Kurang	20 - 50	0,5 – 1	500 - 1000	50 – 150	20 – 50
Buruk	50 - 200	1 – 5	1000 - 5000	150 – 500	50 - 200

2.7.1 Metode *Weight Loss*

Weight loss merupakan metode yang perhitungannya menggunakan selisih antara berat sampel pada saat sebelum pengujian dengan setelah pengujian. Metode *weight loss* sering digunakan dalam skala laboratorium dan industri, karena memerlukan peralatan yang sederhana dan diperoleh data yang akurat tentang laju korosi (Jia-Jung Fu, dkk, 2009). Tapi disini lain pengujian *weight loss* mempunyai kelemahan. Dimana pengujian ini, tidak dapat mendeteksi secara cepat perubahan



yang terjadi pada proses korosi, perhitungan laju korosi pada kupon tidak dapat diterjemahkan secara langsung dari peralatan, tidak dapat dilihat secara langsung tanpa pemindahan kupon dari tempat pengujian, dan bentuk korosi tidak dapat dideteksi dari kupon. Dari selisih tersebut akan dikonversikan menjadi laju korosi dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$mpy = 534 \frac{W}{DAT} \dots\dots\dots (2.5)$$

dimana :

W : berat yang hilang (g)

D : desity (rapat massa) specimen (g/cm³)

A : luas permukaan specimen (cm²)

T : waktu ekspose (jam)

mpy : mills per year (1 mils = 1 milli inchi = 1/1000 inchi)

Ekspresi laju korosi mpy atau *mils per year* merupakan ekspresi yang terbaik, karena menunjukkan penetrasi korosi tanpa decimal, maka satuan laju korosi ini bisa didekati dengan menghitung berat yang hilang selama proses uji korosi (Sulistijono, 1999). Prinsip dari pengujian ini menggunakan kupon. Kupon adalah lempengan logam yang ditempatkan di dalam sistem dan dibiarkan untuk terkorosi. Kupon digunakan untuk mengetahui laju korosi melalui *weight loss*. *Corrosion coupons* paling banyak digunakan untuk material konstruksi untuk mendeteksi serangan permanen dari perubahan korosifitas. Kupon menggambarkan kerusakan korosi selama periode waktu dan hanya digunakan pada kondisi dimana laju korosinya dapat diukur. Bentuk dan dimensi kupon disesuaikan sesuai dengan standar pengujian. Sebelum dilakukan tes kupon diletakkan pada lingkungan pengujian selama periode tertentu, maka produk korosi yang terbentuk sebelumnya harus dihilangkan. Metode penghilangan produk korosi dapat dilakukan tanpa menyebabkan korosi lanjutan.



2.7.2 Pembentukan Lapisan Pasif

Perlambatan laju korosi akibat pembentukan produk korosi yang dialami oleh logam atau paduan tertentu berupa lapisan film tipis yang menghambat kelangsungan korosi dibawah kondisi oksidasi disebut dengan pasifasi. Beberapa logam dapat menjadi pasif sehingga dapat tahan korosi dalam lingkungan yang agresif. Struktur dari lapisan film sangatlah tipis, mudah pecah dan transparan dengan ketebalan antara 1 nm hingga 10 nm. Pada lapisan film tersebut menunjukkan adanya hidrogen dan menandakan adanya hidrogen oksida (OH). Karakter pasifasi tersebut tidak dimiliki oleh sembarang logam, hanya logam tertentu biasanya mengandung Al, Cr, atau Ni. Logam memiliki tiga daerah berbeda yaitu aktif (katodik dan anodik), pasif, dan transpasif. Pasifasi dari suatu logam atau paduan menunjukkan perilaku khusus pada pertambahan polarisasi anodik.

2.7.3 Metode EIS

Spektroskopi impedansi elektrokimia (*electrochemical impedance spectroscopy*, EIS) mengenai metode yang menganalisis respon suatu elektroda terkorosi terhadap sinyal potensial AC pada amplitudo rendah (± 10 mV) dari rentang frekuensi yang sangat lebar. Pada prinsipnya, EIS digunakan untuk menentukan parameter kinetika elektrokimia berkaitan dengan unsur-unsur listrik seperti tahanan, R , kapasitansi, C , dan induktansi, L (Jones, 1992). Parameter elektrokimia yang diperoleh dari pengujian ini adalah R_s , R_{ct} dan C_{dl} , dimana R_s adalah tahanan larutan, R_{ct} adalah tahanan transfer muatan dan C_{dl} adalah kapasitansi lapis rangkap listrik.

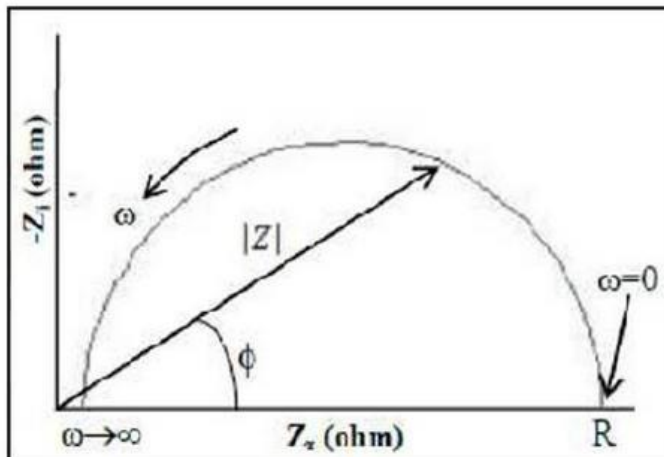
Prinsip kerja dari EIS berdasarkan pada respon terhadap sirkuit yang setara untuk *interface* elektroda/larutan. Respon yang muncul dapat dianalisa melalui *transfer function* berdasarkan rangsangan potensial dengan amplitudo kecil yang diterapkan dengan sinyal yang bervariasi atau laju *sweep*. Pada metode impedansi, gangguan gelombang sinus pada amplitudo kecil diaplikasikan pada sistem korosi dan dimodelkan dengan sirkuit



yang setara untuk menentukan mekanisme korosi dan tahanan polarisasi. Dimaksudkan bahwa tahanan listrik dalam EIS dinyatakan dengan impedansi (Z) yaitu ukuran kemampuan suatu rangkaian dalam menahan aliran arus listrik. Dalam impedansi, sinyal potensial dan arus AC berada dalam fase berbeda dan nilainya dipengaruhi oleh frekuensi. EIS diukur melalui potensial AC yang dialirkan pada sel elektrokimia untuk mengetahui besar arus yang mengalir dalam sistem. Impedansi dari sistem sel elektrokimia Z , ditentukan berdasarkan analogi hukum Ohm seperti persamaan di bawah ini. Dengan ω adalah frekuensi radial, $\omega = 2\pi f$ (rad/sekon), dimana f adalah frekuensi (Hz).

$$Z = \frac{Et}{Lt} = \frac{\sin \omega t E_0}{\sin \omega t + \phi t_0} = Z_0 \frac{\sin \omega t E}{\sin \omega t + \phi t} \dots \dots \dots (2.6)$$

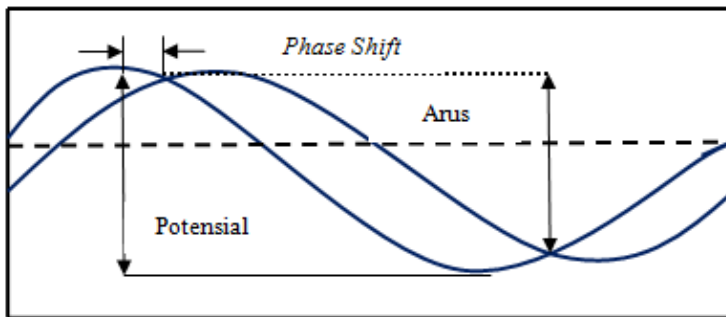
Plot Nyquist menjelaskan hubungan antara impedansi real (Z_{real}) dan impedansi imajiner (Z_{im}). Jika impedansi real diletakkan pada sumbu-x dan impedansi imajiner pada sumbu y akan diperoleh aturan Nyquist. Berdasarkan aturan Nyquist, impedansi dapat dinyatakan sebagai vektor dengan panjang sudut antar vector dan sumbu-x adalah ϕ , seperti gambar berikut:



Gambar 2.7 Aturan nyquist.



Grafik kedua hasil pengujian EIS yaitu Bode[Z] menjelaskan hubungan antara frekuensi (Hz) terhadap impedansi mutlak (Ohm). Pada umumnya semakin tinggi nilai frekuensi maka semakin kecil nilai impedansi mutlak. Sedangkan grafik ketiga yaitu Bode [C], menjelaskan hubungan antara frekuensi (Hz) terhadap kapasitansi. Dimana sistem elektrokimia adalah berupa kontrol difusi, impedansi difusi (Z) dimasukkan ke dalam sirkuit. Eksitasi potensial dan respon arus secara skematik ditunjukkan pada gambar 2.7 sebagai eksitasi sinusoidal.



Gambar 2.7 Skematik Sinusoidal Eksitasi Potensial (Perez,2004)

Jika sinusoidal eksitasi potensial diaplikasikan pada antar muka elektroda/larutan, maka potensial, arus, dan impedansi dapat diprediksi berdasarkan permodelan matematika yang dikembangkan oleh Bard dan Faulkner (1980):

$$E(t) = I(t) Z(\omega) = E_0 \sin(\omega t) \dots \dots \dots (2.7)$$

$$I(t) = I_0 \sin(\omega t + \Theta) \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana :

E_0, I_0 = konstan

Θ = Sudut pergeseran gelombang $E(t)$ dan $I(t)$

$\omega = 2\pi f$ dan $10\text{Hz} \leq f \leq 100\text{ Hz}$



Kemudian untuk menghitung besarnya $|Z(\omega)|$ adalah:

$$|Z(\omega)| = \sqrt{[Z'(\omega)]^2 + [Z''(\omega)]^2} \dots\dots\dots(2.9)$$

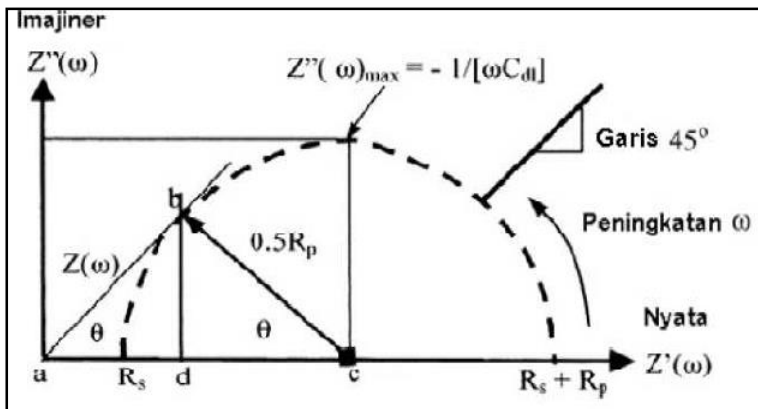
Dan sudut pergeseran gelombang didefinisikan sebagai :

$$\Theta = \tan^{-1} [Z''(\omega) / Z'(\omega)] \dots\dots\dots(2.10)$$

Gambar ini dikenal dengan Nyquist Plot, dimana sudut pergeseran gelombang (*phase shift angle*) dan resistansi polarisasi (*polarization resistance*) menjadi :

$$\tan(\Theta) = \frac{|Z''(\omega)|}{R_p/2} \dots\dots\dots(2.11)$$

$$R_p = \frac{2|Z'(\omega)|}{\tan(\theta)} \dots\dots\dots(2.12)$$



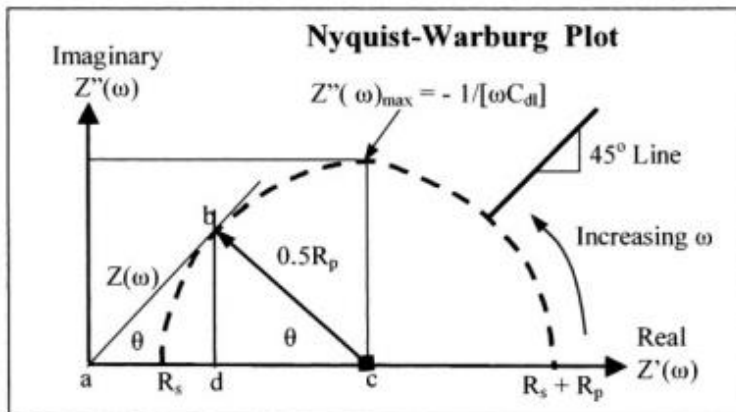
Gambar 2.8 Nyquist Plot Impedansi untuk Sirkuit Elektrokimia Kontrol Muatan (Gamry, 2005)

Selanjutnya kapasitansi lapis ganda dapat dihitung dengan menggunakan ekspresi berikut ini:

$$Cdl = 1 / [\omega R \dots\dots\dots(2.13)$$



Selain Nyquist Plot, terdapat Bode plot yang menunjukkan efek dari frekuensi angular pada impedansi dan *phase shift angle*. Dimana, difusi impedansi (Z_D) menyangkut rangkaian seri dan diketahui sebagai impedansi Warburg. Sebagai catatan bahwa Z_D dan R_p tersambung secara seri. Berikut ini adalah Nyquist-Warburg Plot yang ideal.



Gambar 2.9 Skema Nyquist-Warburg Plot Untuk Kontrol Difusi (Perez, 2004)

Interpretasi Gambar 2.9 mengindikasikan bahwa pada sudut 45° berhubungan dengan frekuensi angular yang rendah. Pada kasus ini kinetika dari sistem elektrokimia dibatasi oleh proses kontrol difusi (polarisasi konsentrasi). Pada awal pengujian dilakukan pengujian OCP (open circuit potensial) untuk mengetahui kestabilan antaraksi antara permukaan elektroda dan larutan uji. Elektroda dibiarkan hingga mencapai keadaan stabil (steady state) dalam elektrolit. Keadaan stabil ini ditunjukkan oleh nilai potensial kurang dari sama dengan 0.1 mV per menit. Potensial ini dinyatakan sebagai potensial keadaan stabil. Pengujian OCP ini berlangsung selama 4 menit, dilanjutkan dengan pengujian impedansi elektrokimia. Pada pengujian dengan



EIS, amplitudo yang digunakan dari puncak ke puncak sebesar - 1200 mV sampai +1000 mV.

Metode EIS merekam data impedansi sebagai fungsi dari frekuensi yang diaplikasikan pada potensial yang tetap. Rentang frekuensi yang besar (1 mHz – 65 kHz) harus diinvestigasi untuk memperoleh spektrum impedansi yang lengkap. Telah diteliti bahwa dengan rentang EIS yang kecil kurang baik dalam mempengaruhi angka, keberlangsungan dan aktivitas mikroorganisme dalam biofilm (Dowling dkk, 1988). Data EIS dapat digunakan untuk mencari tahanan polarisasi (R_p) yang berbanding terbalik dengan laju korosi. EIS biasanya digunakan dalam keadaan *steady state* (korosi merata); bagaimanapun model yang canggih telah dikembangkan untuk korosi yang terlokalisasi (Mendig dkk, 1983). Kekurangan dari metode EIS ini ialah ketidakmampuannya untuk mengukur parameter elektrokimia, seperti R_p , dari spektra impedansi ketika MIC adalah mekanisme untuk mengetahui korosi. Perhitungan memerlukan model sirkuit elektrik untuk menganalisa impedansi sedangkan MIC tidak memerlukannya (Mansfeld dkk, 1992).

2.7.4 *Fourier Transform Infra Red (FTIR)*

Pengujian FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) dilakukan untuk mengetahui gugus fungsional dan senyawa yang terkandung dalam ekstrak sarang semut (*Myrmecodia Pendans*). Alat ini digunakan untuk merekam spektrometer IR yang diserap oleh ekstrak sarang semut sehingga dapat diketahui jenis ikatan yang ada pada ekstrak sarang semut. Ikatan tersebut ditunjukkan dengan puncak-puncak yang dihasilkan dari penyerapan spektrum IR yang ditembakkan dari sampel ekstrak sarang semut. Masing-masing jenis ikatan pada ekstrak sarang semut memiliki daerah puncak penyerapan yang memiliki karakteristik berbeda-beda. Dengan melihat puncak yang ada maka dapat disesuaikan dengan referensi terkait jenis ikatan tersebut sehingga dapat digunakan untuk memprediksi struktur kimia dari ekstrak sarang semut. Adapun referensi yang terkait dengan jenis ikatan yang terdapat ekstrak sarang semut Tabel 2.4.



Tabel 2.4 Frekuensi Gugus Untuk Gugus Fungsi Organik
 (Skoog, Holler, & Crouch, 2007)

Ikatan	Tipe Senyawa	Range Frekuensi (cm ⁻¹)	Intensitas
C-H	Alkana	2850-2970 1340-1470	Kuat Kuat
C-H	Alkena	3010-3095 675-995	Medium Kuat
C-H	Alkuna	3300	Kuat
C-H	Cincin aromatic	3010-3100 690-900	Medium Strong
O-H	Alkohol monomerik, fenol Ikatan hidrogen, alkohol, fenol Asam karboksilat monomerik Ikatan Hidrogen asam karboksilat	3590-3650 3200-3600 3500-3650 2500-2700	Variabel Variabel Medium Broad
C=C	Alkena	1610-1680	Variabel
C=C	Cincin Aromatik	1500-1600	Variabel
C=C	Alkuna	2100-2260	Variabel



Ikatan	Tipe Senyawa	Range Frekuensi (cm^{-1})	Intensitas
C-N	Amina, Amida	1180-1360	Kuat
C=N	Nitril	2210-2280	Kuat
C-O	Alkohol, eter, asam karboksilat, ester	1050-1300	Kuat
C=O	Aldehyde, keton, asam karboksilat, ester	1690-1760	Kuat
NO ₂	Senyawa nitro	1500-1570 1300-1370	Kuat Kuat

Penggunaan IR yang paling banyak adalah pada kimia organik dengan pembatasan spektrum antara 4000 sampai 400 cm^{-1} . Spektrum yang dihasilkan oleh radiasi IR dapat digunakan untuk mengetahui identitas dari suatu kimia organik, Hal ini didasarkan molekul dapat memberikan suatu spektrum yang sangat kompleks. Oleh karena itu, ketika suatu kimia organik bertemu dengan spektrum dan dibandingkan dengan suatu sampel yang otentik, maka akan menghasilkan puncak-puncak yang ketika dihubungkan akan menjadi identitas dari kimia organik tersebut. Gugus atom dapat menimbulkan *band* di atau dekat dengan frekuensi yang sama tanpa memperhatikan struktur dari keseluruhan molekul. Radiasi IR akan diasorpsi dan dirubah oleh molekul organik menjadi energi getaran molekul (*molecular vibration*) pada frekuensi 4000 sampai 400 cm^{-1} . Adapun cara kerja FTIR seperti berikut, mula mula zat yang akan diukur diidentifikasi, berupa atom atau molekul. Sinar infra merah yang berperan sebagai sumber sinar dibagi menjadi dua berkas, satu



dilewatkan melalui sampel dan yang lain melalui pembanding. Posisi serapan dalam spektra IR dinyatakan sebagai *wavenumber* atau frekuensi dengan unit dinyatakan dalam cm^{-1} . Sedangkan intensitas serapan dinyatakan salah satunya dengan *transmittance* (T) atau *adsorbance* (A). *Transmittance* adalah perbandingan dari daya radiasi yang ditransmisikan oleh sampel menuju ke daya radiasi yang terjadi pada sampel. *Absorbance* adalah logaritma yang sesuai dengan *transmittance*.

$$A = \log_{10} (1/T) \dots\dots\dots(2.15)$$

Frekuensi yang disebabkan frekuensi gugus terjadi sebagai interaksi dengan getaran lain yang terkait dengan satu atau dua atom yang menyusun gugus. Oleh karena itu, serapan maksimum untuk gugus fungsi dapat ditentukan.

Kelebihan utama yang dimiliki FTIR jika dibandingkan dengan metode lainnya antara lain (Lathifah, 2008) :

- a. Analisis yang dilakukan lebih cepat jika dibandingkan dengan menggunakan metoda *scanning*. Hal ini terkait dengan semua frekuensi yang berasal dari sumber cahaya dapat digunakan bersama-sama.
- b. Radiasi yang masuk ke sistem detektor lebih banyak karena tidak harus melalui celah sehingga sensitivitasnya lebih besar dibandingkan sistem dispersi.

2.8 Mekanisme Terjadinya Korosi pada Baja

Korosi pada logam merupakan proses reaksi reduksi dan oksidasi kimia atau elektrokimia yang menyebabkan transfer elektron dari logam ke lingkungan. Pada dasarnya proses korosi adalah pelarutan logam yang terjadi ketika adanya suatu reaksi dipermukaan logam dengan zat-zat kimia yang terkandung dalam lingkungan logam. Korosi pada logam melibatkan reaksi elektrokimia. Dimana reaksi elektro kimia merupakan reaksi pelepasan elektron (reaksi oksidasi) dan penerima elektron (reaksi reduksi), proses korosi dapat terjadi jika berada dalam suatu sel

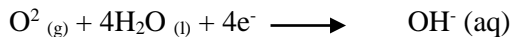
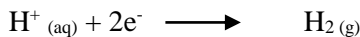


elektrolitik. Larutan elektrolit sebagai media penghantar listrik. Adanya kontak metalik antar anoda dan katoda sehingga elektron dapat mengalir dari anoda menuju katoda.

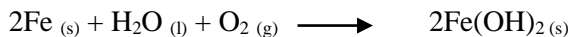
Apabila logam terpapar dalam medium air laut atau air tawar yang mempunyai pH mendekati netral maka logam secara spontan akan teroksidasi menurut reaksi anodik :



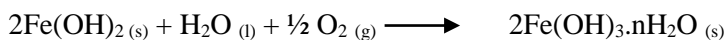
Reaksi katodik yang terjadi pada kondisi ini adalah :



Oleh karena ion-ion klorida, nitrat dan anion lain tidak terlibat dalam reaksi ini, maka keseluruhan reaksi dapat ditulis sebagai berikut :



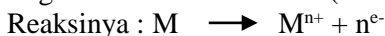
Senyawa $\text{Fe}(\text{OH})_2$ yang dihasilkan akan mengendap pada permukaan logam membentuk lapisan. Lapisan yang terbentuk bersifat porous sehingga oksigen dapat berdifusi ke dalam lapisan, yang pada gilirannya proses oksidasi akan berlangsung secara perlahan. $\text{Fe}(\text{OH})_2$ merupakan senyawa yang kurang stabil, dengan adanya oksigen, senyawa $\text{Fe}(\text{OH})_2$ akan teroksidasi lebih lanjut membentuk oksida besi yang lebih stabil atau disebut juga karat besi.



Korosi akan terjadi bila terdapat empat komponen, yaitu :

1. Anoda

Anoda merupakan elektroda yang terkorosi atau yang mengalami reaksi oksidasi (melepaskan elektron)





2. Katoda

Merupakan elektroda yang mengalami reaksi proteksi (menerima elektron). Reaksi yang umumnya terjadi di katoda adalah

- Evolusi H_2 dari larutan asam atau netral :
 $2H^+ + 2e^- \longrightarrow H_2$ (larutan asam)
 $2H_2O + 2e^- \longrightarrow H_2 + 2OH^-$ (larutan netral dan basa)
 - Reduksi oksigen pada larutan asam atau basa dan netral :
 $O_2 + 2e^- \longrightarrow H_2$ (diudara)
 $O_2 + 4H^+ + 4e^- \longrightarrow 2 H_2O$ (larutan asam)
 $O_2 + 2H_2O + 4e^- \longrightarrow 4OH^-$ (larutan netral atau basa)
 - Reduksi dari oksidator yang terlarut pada reaksi redox seperti
 $Fe^{3+} + e^- \longrightarrow Fe^{2+}$
3. Larutan elektrolit sebagai media penghantar listrik
4. Adanya kontak metalik antar anoda dan katoda sehingga elektron dapat mengalir dari anoda menuju katoda (Sulistijono, 2000).

2.9 Temperatur

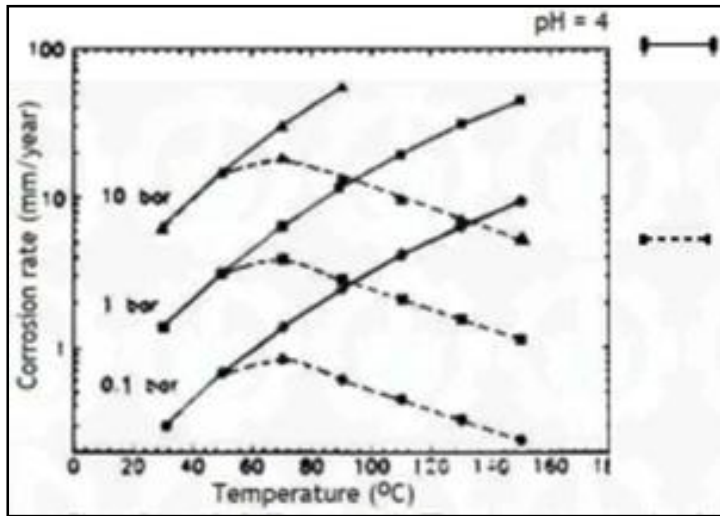
Secara umum temperatur akan menyebabkan meningkatnya laju korosi. Temperatur yang meningkat akan mempengaruhi meningkatnya tingkat rekatifitas sehingga dapat mengakibatkan meningkatnya laju korosi. Setiap kenaikan $10^\circ C$, laju korosi akan meningkat dua kali lipat (Sulistijono, 1999). Peningkatan temperatur akan mengakibatkan jumlah lapisan produk yang terbentuk juga semakin banyak dan akan mengendap di permukaan. Akibatnya, laju korosi akan menurun karena lapisan film menjadi lebih protektif. Banyak penelitian yang menunjukkan adanya keterkaitan antara temperatur dengan laju korosi. Pembentukan lapisan $FeCO_3$ juga dipengaruhi oleh meningkatnya temperatur. Pengaruh temperatur pembentukan



lapisan FeCO_3 dan laju korosi adalah sebagai berikut (Kermani et al, 2005) :

- Pada kondisi temperatur rendah ($< 75^\circ\text{C}$), laju pembentukan terjadi secara lambat dan keefektifan lapisan rendah sehingga proteksi yang diberikan akan sangat rendah pula.
- Pada temperatur antara 75°C hingga 100°C , reaksi pengendapan mulai mempengaruhi laju korosi.
- Pada temperatur tinggi $> 100^\circ\text{C}$, pengendapan berlangsung dengan sangat cepat sehingga akan meningkatkan pembentukan lapisan pelindung dan proteksi korosi menjadi lebih maksimal.

Pengaruh pembentukan film pada laju korosi dengan temperatur yang berbeda dipaparkan oleh Dewaard dan Milliams (1975), dan ditunjukkan dengan gambar di bawah ini.



Ketengan : ————— (Tanpa Inhibitor)
 - - - - - (Ada Inhibitor)

Gambar 2.7 Laju Korosi di Lingkungan CO₂ pada pH 4 Menurut Dewaard dan Milliams (1975).

Pada Gambar 2.7 dapat dilihat bahwa laju korosi akan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur. Seperti diketahui tanpa pembentukan lapisan film, laju korosi akan meningkat secara dramatis pada kondisi temperatur tinggi. Begitu sebaliknya, dengan adanya lapisan film, laju korosi akan menurun ketika berada di atas temperatur sekitar 70°. Hal ini dikarenakan lapisan film mengendap pada permukaan dan lebih padat. Menurut Crolet (1996), kelarutan film yang tinggi menyebabkan laju korosi meningkat pada temperatur rendah. Dengan meningkatnya temperatur, lapisan film besi karbonat akan lebih cepat terbentuk di permukaan logam dan lebih



protektif. Akibatnya, akan menjadi lapisan pelindung yang mengakibatkan penurunan laju korosi.

2.10 Isoterm Adsorpsi

Mekanisme adsorpsi inhibitor adalah dengan menghilangkan molekul air yang berada pada permukaan logam yang terendam dalam larutan digantikan oleh penyerapan molekul organik. Interaksi antara inhibitor dengan permukaan logam dapat dijelaskan dengan menggunakan isoterm adsorpsi (Shivakumar S. S, 2012). Untuk mengetahui interaksi antara inhibitor dengan permukaan logam, dilakukan dengan mencocokkan data eksperimen dengan beberapa jenis isoterm. Terdapat beberapa model isotherm adsorpsi yang digunakan untuk memberikan informasi mengenai interaksi logam dengan inhibitor, antara lain: Langmuir (El-haddad, 2013), Freundlich (Bouklah dkk, 2006), Flory-Huggins (Javadian dkk, 2013), Temkin dan Frumkin (Paul dan Kar, 2012). Untuk mengetahui isotherm adsorpsi yang sesuai harus dilakukan fitting terhadap model persamaan yang akan menghasilkan garis lurus dengan koefisien korelasi (R^2) mendekati 1.

$$\text{Langmuir} \quad : \quad \frac{C}{\theta} = C + \frac{1}{K_{ads}} \quad (2.13)$$

$$\text{Freundlich} \quad : \quad \theta = K_{ads} C \quad (2.14)$$

$$\text{Flory-Huggins} \quad : \quad \log\left(\frac{\theta}{C}\right) = \log(xK_{ads}) + x \log(1 - \theta) \quad (2.15)$$

$$\text{Temkin} \quad : \quad \log C = \frac{f\theta}{2,303} - \log K_{ads} \quad (2.16)$$

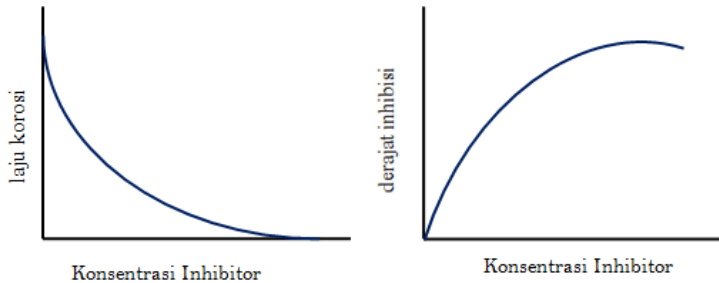
$$\text{Fumkin} \quad : \quad \ln\left[\frac{\theta}{(1-\theta)C}\right] = \ln K_{ads} + 2a\theta \quad (2.17)$$

2.11 Inhibitor

Inhibitor korosi adalah substansi kimia yang ditambahkan pada lingkungan korosif dapat menghasilkan pengurangan laju



korosi dengan tingkat yang sesuai (*acceptable level*) (Sastri, 2011).



Gambar 2.8 (a) Laju korosi sebagai Fungsi Konsentrasi Inhibitor
(b) Efisiensi Inhibitor sebagai Fungsi Konsentrasi Inhibitor (Sastri, 2011).

Pada umumnya inhibitor korosi digunakan dalam konsentrasi tertentu. Inhibitor korosi sebaiknya tidak hanya menghambat korosi tetapi juga dapat kompatibel dengan lingkungan. Penambahan inhibitor dapat dilakukan pada berbagai sistem, seperti : *pipelines, chemical operations, steam generator, cleaning pads* dan produk lainnya. Penggunaan inhibitor sebagai salah satu alternatif pengendalian korosi haruslah sesuai dengan lingkungan kerjanya, ekonomis dan ramah lingkungan. Inhibitor adalah zat yang apabila ditambahkan ke dalam suatu lingkungan dalam jumlah kecil (secara berkesinambungan) dapat menurunkan laju korosi logam. Beberapa klasifikasi utama, digunakan khusus untuk inhibitor dalam larutan mendekati netral adalah sebagai berikut :

- a. Berdasarkan bahan dasarnya :
 - Inhibitor Organik
 - Inhibitor Inorganik
- b. Berdasarkan reaksi yang dihambat :

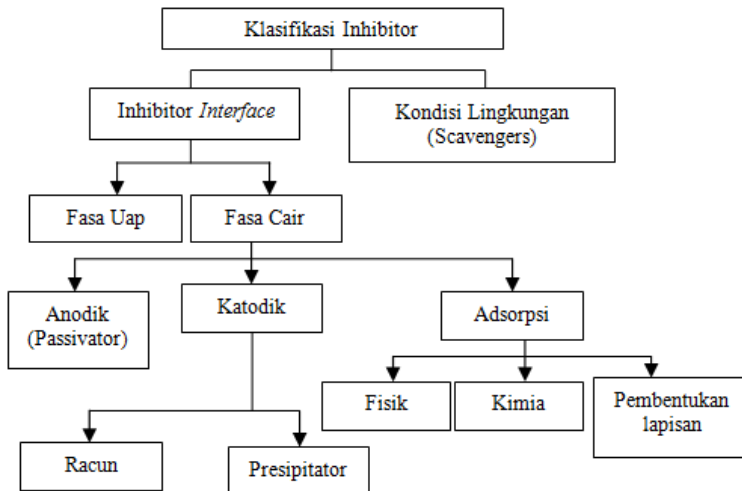


- **Inhibitor Katodik**
Inhibitor katodik bekerja dengan menghambat reaksi reduksi. Molekul organik bermuatan netral teradsorpsi di permukaan logam sehingga mengurangi akses ion hidrogen menuju permukaan elektroda. Dengan berkurangnya akses ion hidrogen yang menuju permukaan elektroda, maka hidrogen *overvoltage* akan meningkat, sehingga menghambat reaksi evolusi hidrogen, akibatnya laju korosi turun.
 - **Inhibitor Anodik**
Adalah inhibitor yang menghambat reaksi oksidasi. Molekul organik teradsorpsi di permukaan logam, akibatnya laju korosi menurun. Contoh inhibitor anodik adalah molibdat, silikat, fosfat, borat, kromat, nitrat, dan nitrit.
 - **Inhibitor campuran** : Campuran dari inhibitor katodik dan anodik.
- c. Berdasarkan Mekanisme Inhibisi :
- **Inhibitor Pasivator**
Menghambat korosi dengan cara menghambat reaksi anodik melalui pembentukan lapisan pasif, sehingga merupakan inhibitor berbahaya, bila jumlah yang ditambahkan tidak mencukupi.
 - **Inhibitor Presipitasi**
Membentuk kompleks tak larut dengan logam atau lingkungan sehingga menutup permukaan logam dan menghambat reaksi anodik dan katodik.
 - **Inhibitor Adsorpsi**
Agar teradsorpsi harus ada gugus aktif (gugus heteroatom). Gugus ini akan teradsorpsi di permukaan logam.



Contoh : Senyawa astilen, senyawa sulfur, senyawa amine, dan senyawa aldehid.

Inhibitor korosi biasanya ditambahkan pada lingkungan dengan kondisi asam, *cooling water*, *steam*, dan lingkungan lainnya yang sangat membutuhkan pencegahan terhadap korosi yang serius. Beberapa inhibitor menghambat korosi dengan mengasorpsi untuk membentuk lapisan tipis, memperlihatkan lapisan dengan beberapa molekul yang tebal, dan membentuk endapan dan berfungsi untuk melapisi logam. Inhibitor dapat diklasifikasikan dalam berbagai metoda sesuai dengan sifat dasar kimianya (senyawa organik atau anorganik), karakteristiknya (senyawa oksidator atau non-oksidator) dan aplikasi teknis di lapangan (*pickling*, *descaling*, *acid cleaning*, *cooling water system*, dan sebagainya). Secara umum klasifikasi inhibitor dapat dilihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.29 Klasifikasi Jenis Inhibitor (Patton, 1995)



2.11.1 Efisiensi Inhibitor

Efisiensi Inhibitor menunjukkan presentase penurunan laju korosi akibat penambahan inhibitor. Persamaannya adalah sebagai berikut (Roberge, 1999) :

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{lj.korosi tanpa inhibitor} - \text{lj.korosi inhibitor}}{\text{laju korosi tanpa inhibitor}} \times 100\%$$

Andi Rustandi dalam disertasinya di tahun 2012 juga menjelaskan efektifitas inhibitor dari campuran ekstrak *Green Tea* dan *Piper Betle*. Pada penelitian ini digunakan larutan elektrolit 3.5 % NaCl pada temperatur 25°C. Pada kondisi NaCl 3.5% dan injeksi gas CO₂ 1 atm (pH=4) efisiensi inhibitor dapat mencapai 74% dengan kondisi larutan elektrolit yang stagnan. Efisiensi ini lebih rendah apabila dibandingkan dengan kondisi 3.5% NaCl tanpa injeksi gas CO₂ (pH=7). Perbedaan ini disebabkan oleh pengaruh ion OH⁻ didalam larutan, yang mana pada pH=7 konsentrasinya relatif lebih tinggi. Ion OH⁻ tersebut dapat berikatan dengan ion H⁺ yang berada pada gugus phenolic sehingga meningkatkan proses pembentukan lapisan film pada permukaan baja.

Saddam Husien pada tahun 2013 melakukan penelitian tentang pemanfaatan obat Paracetamol sebagai inhibitor korosi pada baja APIL 5L Grade B dalam media 3.5% NaCl dan 0.1 M HCl. Pada penelitian ini dilakukan dengan 5 variasi konsentrasi inhibitor yaitu 100ppm, 150ppm, 200ppm, 300ppm dan 400ppm pada semua media elektrolit. Inhibitor yang digunakan adalah obat Paracetamol dan dengan Paracetamol murni. Dari hasil penelitian dengan menggunakan inhibitor obat paracetamol pada media 3.5% NaCl didapatkan nilai laju korosi terendah yaitu pada konsentrasi sebesar 200ppm dengan nilai efisiensi 66.67%, sedangkan pada media 0.1 M HCl juga didapatkan nilai laju korosi terendah pada konsentrasi sebesar 200ppm dengan nilai efisiensi 53.14%. Pada inhibitor paracetamol murni dengan



media 3.5% NaCl didapatkan nilai laju korosi terendah juga pada konsentrasi 200ppm namun dengan nilai efisiensi yang lebih rendah dibandingkan dengan inhibitor obat paracetamol yaitu sebesar 37.5%. Sedangkan pada media 0.1 M HCl didapatkan nilai laju korosi terendah juga pada konsentrasi 200ppm dengan efisiensi 51.37%, namun effisiensinya masih lebih rendah apabila dibandingkan dengan efisiensi pada inhibitor obat paracetamol yang bernilai 53.14%.

Berdasarkan penjelasan atau review diatas mengenai penelitian-penelitian yang sudah dilakukan dan hubungannya dengan kinerja inhibitor obat paracetamol maka untuk penelitian lebih lanjut mengenai pencegahan korosi CO₂ dengan metode inhibitor pada baja masih terbuka kemungkinan untuk menggunakan obat paracetamol sebagai zat inhibisi.

2.11.2 Sarang Semut Sebagai Inhibitor

Tumbuhan sarang semut merupakan salah satu tumbuhan epifit dari *Rubiaceae* yang dapat berasosiasi dengan semut. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Qui Kim Tran dari University National of Hochiminh City, Yasuhiro Tezuka, Yuko Harimaya dan Arjun Hari Banskota dengan menumbuhkan 3 sel kanker yaitu kanker serviks, kanker paru dan kanker usus dalam ekstrak sarang semut dengan berbagai pelarut seperti air, methanol, dan campuran methanol-air menunjukkan adanya aktivitas antiproliferasi terhadap sel kanker.

Dari hasil penelitian yang memberikan kesimpulan bahwa seluruh ekstrak sarang semut menekan proliferasi sel tumor manusia (Soeksmanto dkk, 2010). Berdasarkan hal tersebut dan beberapa penelitian yang telah dilakukan oleh (Engida Mekonnen dkk, 2011) untuk mengetahui metode ekstraksi dan kandungan flavonoid yang ada pada sarang semut. Dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa ekstrak dari sarang semut diperoleh kondisi optimum saat di ekstrak dengan pelarut etanol 80%, 50 ml pelarut per sampel gram dalam waktu ekstraksi 4 jam dan dianalisis menggunakan metode HPLC pada 280 dan 285 nm.



Dari hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa di dalam tumbuhan sarang semut terkandung *flavonoid* yang cukup tinggi dimana terkandung lima *flavonoid* yaitu *kaempferol*, *luteolin*, *rutine*, *quercetin* dan *apigenin*. Flavonoid pada tanaman sarang semut dinilai sebagai zat antioksidan yang bersifat kuat karena kemampuan untuk memberikan hidrogen atau electron untuk membentuk radikal intermediet yang stabil (Wang dkk, 2007). *Myrmecodia pendans* adalah tumbuhan di wilayah Asia Tenggara hingga kawasan Pasifik seperti Kepulauan Solomon, tumbuhan sarang semut memiliki puluhan spesies. Sarang semut dari genus *Hydnophytum* saja memiliki sekitar 55 spesies, sedangkan dari genus *Myrmecodia* terdiri atas sekitar 26 spesies. Indonesia, terutama pulau Papua, menjadi daerah dengan jumlah spesies sarang semut terbanyak (Adam Mekonnen, 2011).



Gambar 2.9 Sarang Semut (Adam Mekonnen, 2011).

2.12 Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah atau sangat rendah banyak digunakan untuk proses pembentukan lembaran, seperti untuk badan dan rangka kendaraan serta komponen-komponen otomotif lainnya. Baja jenis ini memiliki kekuatan yang relatif rendah tetapi memiliki keuletan yang relatif tinggi. Pada umumnya digunakan untuk proses pembentukan lembaran. Dengan meningkatnya



kadar karbon maka baja karbon menjadi semakin kuat tetapi berkurang keuletannya. Dimana presentase unsur karbonnya di bawah 0,25%. Hal ini dapat ditunjukkan pada tabel 2.1. Sedangkan unsur pembentuk lainnya adalah seperti Mn tidak lebih dari 0,8%, Si tidak lebih dari 0,5%, demikian pula unsur Cu tidak lebih dari 0,6%.

Tabel 2.5 Klasifikasi Baja Karbon (Joko Wahyono, 2005)

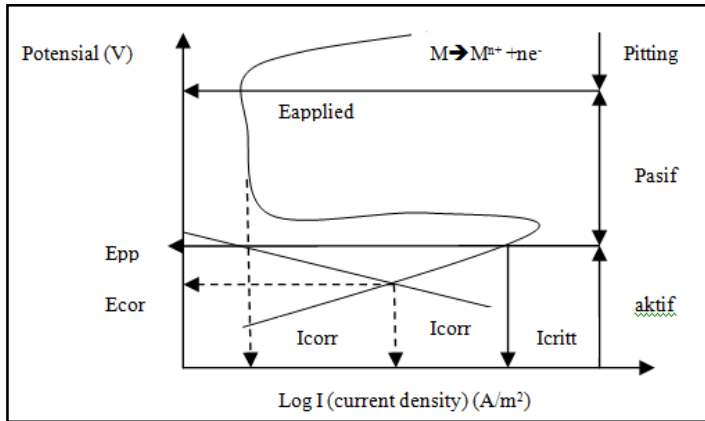
No	Jenis Baja Karbon	Presentase Unsur Karbon
1	Baja Karbon Rendah	$\leq 0,25 \%C$
2	Baja Karbon Medium	0,25-0,55 %C
3	Baja Karbon Tinggi	$\geq 0,55 \%C$

Selain berdasarkan kandungan karbonnya, juga dikelompokkan berdasarkan komposisi presentasi unsur pemadu karbon seperti yang terlihat pada diagram Fe-Fe₃C. Secara umum diketahui bahwa baja dengan ukuran butir lebih kecil akan memiliki kekuatan yang tinggi pada temperatur kamar. Material dengan butir yang lebih halus maka akan lebih keras dan kuat dibandingkan material dengan butir kasar, karena butir halus memiliki area butir total yang lebih luas untuk menghalangi pergerakan dislokasi. Untuk sebagian besar material, kekuatan tariknya bervariasi dengan ukuran butir. Penguatan baja karbon rendah dapat dilakukan melalui proses termomekanika, proses perlakuan panas, dan pemberian paduan mikro.

Dimana hanya logam tertentu yang mengandung Al, Cr, Ni yang memiliki karakter pasivasi. Logam tersebut memiliki tiga daerah berbeda yaitu aktif (katodik dan anodik), pasif, dan transpasif. Lapisan pasif yang efektif adalah lapisan yang dapat menahan penembusan (kerusakan-*breakdown*) dari lapisan pasif. Pasivasi yaitu hilangnya reaktivitas kimia yang dialami suatu logam yang berkisar antara sedang sampai kuat (Fontana, 1987). Terdapat lapisan film tipis dan transparan di permukaan logam. Struktur dari lapisan film sangatlah tipis, mudah pecah, dan



transparan dengan ketebalan antara 1 nm sampai dengan 10 nm. lapisan protektif yang terbentuk pada permukaan logam menciptakan kondisi pasif dan terjadi peningkatan ketahanan korosi logam.



Gambar 2.11 Daerah Aktif, Pasif, dan Kerusakan Pasifitas (*Pitting*) pada Kurva Polarisasi (Sastri, 2007)

Pada gambar 2.11, dapat dilihat bahwa lapisan pasif terjadi pada saat terjadinya penurunan nilai rapat arus. Lapisan pasif merupakan lapisan pelindung yang membatasi kontak antara permukaan logam dengan lingkungannya (elektrolit), sehingga laju transfer elektron dari logam ke lingkungan menjadi terhambat (Sastri, 2007). Hal ini sesuai dengan persamaan tafel:

$$i = nFk \exp \left(\pm \alpha F \frac{\Delta V}{RT} \right) \dots \dots \dots (2.16)$$

Dimana :

- i = Rapat Arus
- n = Elektron yang Terlibat pada Reaksi Elektroda
- F = Konstanta Faraday
- α = Koefisien Transfer Muatan



ΔV = Potensial
 R = Konstanta Gas Universal
 T = Temperatur

Persamaan (2.16) diatas menunjukkan bahwa besarnya rapat arus setara niainya dengan elektron yang terlibat reaksi elektroda , $i \approx n$. Sehingga dengan adanya lapisan pasif yang membatasi kontak antara permukaan logam dengan lingkungannya, semakin sedikit juga elektron yang terlibat pada reaksi di elektroda sehingga rapat arus makin kecil (gambar 2.11).

2.13 Penelitian Sebelumnya

Inhibitor organik dapat membentuk senyawa kompleks yang mengendap pada permukaan logam sebagai lapisan pelindung. Reaksi yang terjadi dapat berupa reaksi anodik, reaksi katodik, atau keduanya. Hal ini bergantung dari reaksi pada permukaan logam dan potensial logam tersebut. Selain itu juga dapat berfungsi untuk menetralsir konstituen korosif dan mengabsorbsi konstituen korosif tersebut. Penggunaan dengan konsentrasi yang tepat dapat mengoptimalkan perlindungan pada seluruh logam (Pierre R. Roberge, 2000). Dimana inhibitor organik berasal dari tumbuh-tumbuhan maupun biji-bijian. Ekstrak tumbuhan seperti daun, batang mempunyai aktivitas untuk menghambat laju korosi karena mengandung zat antioksidan seperti alkaloid, flavanoid, alanin dan lain-lain. Berikut adalah daftar penelitian yang sebelumnya telah dilakukan tentang *green inhibitor*:



Tabel 2.5 Penelitian *green inhibitor* yang Pernah Dilakukan

No	Peneliti	Logam	Media	Inhibitor	Metode	Metode Inhibisi
1.	A. Bouyanzer, 2004	<i>Mild Steel</i>	HCl	Jahe	Pengurangan Berat	IE meningkat sebanding dengan bertambahnya temperatur.
2.	S.P.Ramesh, 2001	<i>Mild Steel</i>	HCl	Tanaman Sambilo	Pengurangan berat, Polarisasi Tafel dan EIS	Inhibitor korosi
3.	M.A.Quraishi, 2010	<i>Mild Steel</i>	1M HCl dan 0.5M H ₂ SO ₄	Daun Koja atau daun kari	Pengurangan berat, EIS, dan polarisasi potensiodinamik	<i>Langmuir adsorption isotherm</i>
4.	J.H.Potgieler, 2008	SS duplex 2205 dan 2507	HCl dan H ₂ SO ₄	Madu	Elektrokimia	Inhibitor Anodik



No	Peneliti	Logam	Media	Inhibitor	Metode	Metode Inhibisi
8.	J.C.Da Rocha Cuncha Ponciano Gomes. <i>Corrosion science</i> , 2010	<i>Mild steel</i>	1 M HCl	Kulit buah mangga, jeruk dan markisa	Electrochemical impedance, potentiodynamic polarization curves	Langmuir adsorption isotherm. IE increases with extract concentration and decreases with temperature
9.	Atria, dkk. 2013	<i>Mild steel</i>	NaCl 3.5%	Sarang semut	polarisasi, weight loss, kromatografi	Inhibition or adsorption
10.	Manggara. 2014	<i>Mild steel</i>	1M HCl dan 1M H ₂ SO ₄	Sarang semut	EIS, Potensio dinamik, XRD, Weight loss	Inhibition or adsorption



No	Peneliti	Logam	Media	Inhibitor	Metode	Metode Inhibisi
12.	E.I.Ating, 2010	Aluminium	HCl	Daun Buah Nanas	Pengurangan berat dan <i>hydrogen evolution</i>	<i>Langmuir adsorption isotherm</i>

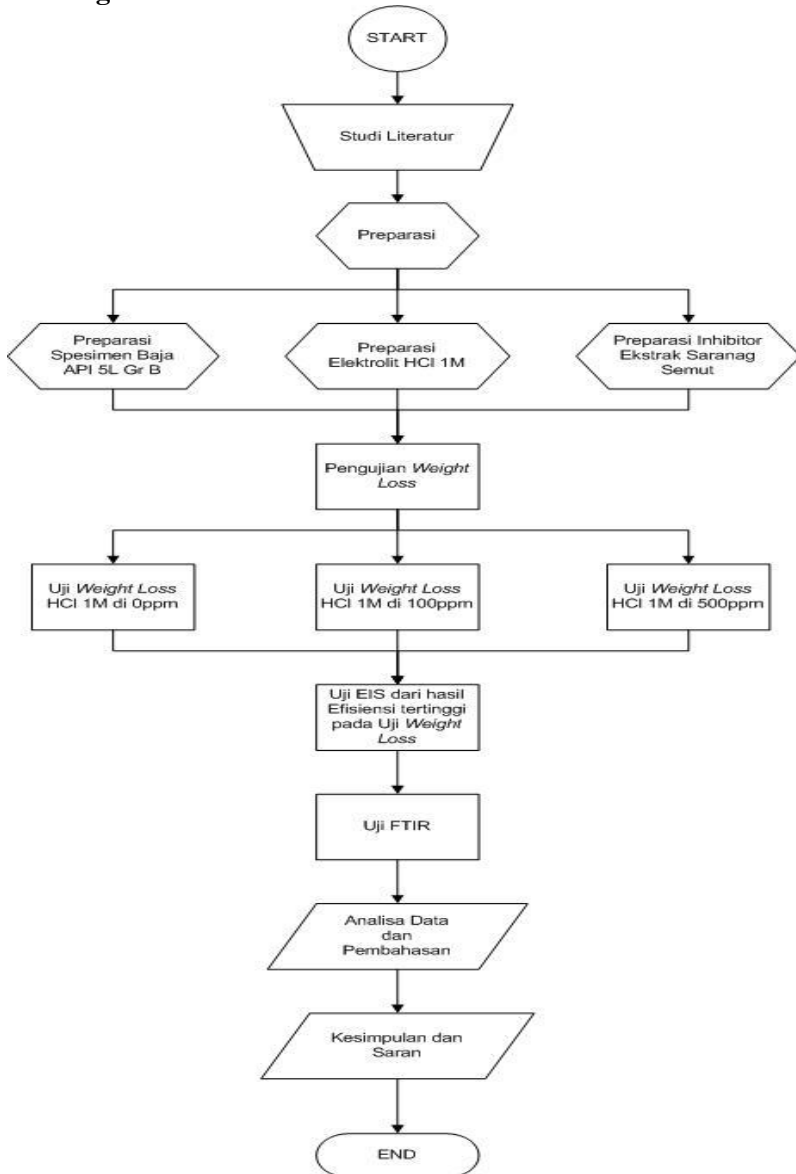


(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



3.2 Peralatan Penelitian

Peralatan yang akan digunakan pada penelitian adalah sebagai berikut :

1. Gelas Beker 400 mL
2. Gergaji besi
3. Kompor Listrik
4. Labu Ukur
5. Mesin bor dan mata bor diameter 0,2 mm
6. Kertas gosok grade 200, 280, 300, 400, 500, 600, 800, 1000
7. Mesin *Rotary Evaporator*
8. Oven Manual
9. pH meter
10. Peralatan pengujian EIS
11. Peralatan pengujian FTIR
12. Stop Watch
13. Timbangan digital
14. Thermokontrol
15. Thermometer

3.3 Bahan Penelitian

1. Material
 - Spesimen yang digunakan adalah API 5L Grade B. Spesimen tersebut didesain dengan dimensi 10 x 10 x 3 mm untuk Uji *Weight loss*.
 - Sedangkan, untuk Uji EIS dan Uji FTIR yaitu dipotong menjadi ukuran Ø 10 mm x 5mm.
 - Spesifikasi API 5L Grade B dapat dilihat seperti pada tabel 3.1 berikut ini:

Tabel 3.1 Komposisi kimia Baja API 5L Grade B

Grade	C	Mn	P	S	Si	Fe
B	0,26	1,2	0,014	0,007	0.011	99,27



1. Elektrolit
Larutan elektrolit menggunakan HCl 1M.
2. Inhibitor
Inhibitor yang diuji pada penelitian ini menggunakan ekstrak tumbuhan sarang semut (*Myrmecodia pendans*) dengan variasi konsentrasi inhibitor 0 ppm, 100 ppm dan 500 ppm.
3. Epoksi resin
4. Air sabun
5. Aquades
6. HCL 5M

3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yaitu rangkaian langkah-langkah yang harus dikerjakan dalam suatu penelitian. Pada penelitian kali ini dilakukan dua jenis penelitian yaitu, untuk pengujian laju korosi dan karakterisasi pembentukan film. Setiap mengadakan suatu penelitian diperlukan prosedur kerja yang telah disusun secara sistematis dan jelas agar langkah-langkah yang diambil dalam penelitian lebih efektif.

3.4.1 Preparasi Spesimen

a. Uji *Weight loss*

- Untuk pengujian ini, material yang didapat berbentuk pipa berdiameter 5 cm dan panjang 150 cm. Kemudian pipa tersebut dibuat menjadi lempengan dan dipotong menjadi ukuran 1cm x 1cm x 3mm diberi lubang pada ujung tengah spesimen 2mm yang digunakan untuk mengikat spesimen dengan menggunakan benang nilon. Ukuran spesimen disesuaikan dengan ukuran rodong kaca yang digunakan untuk perendaman.



- **Pengamplasan Sampel**
Setelah mendapat dimensi yang sesuai dilakukan pengamplasan di seluruh permukaannya agar produk korosi yang ada pada sampel dapat hilang. Pengamplasan dimulai dari grade 200, 280, 300, 400, 500, 600, 800, 1000.
- **Pengeboran Sampel**
Sampel yang sudah diampelas kemudian dibor dengan mata bor yang berdiameter 2mm pada bagian atas sebagai tempat menggantung spesimen. Penampakan visual dari spesimen uji *weight loss* dapat dilihat seperti gambar 3.2 berikut ini.



Gambar 3.2 Spesimen *Weight loss*

- **Pengukuran berat awal sampel**
Kemudian setiap sampel diukur berat awalnya dengan menggunakan timbangan digital sebagai data awal percobaan.



Gambar 3.3 Timbangan Digital

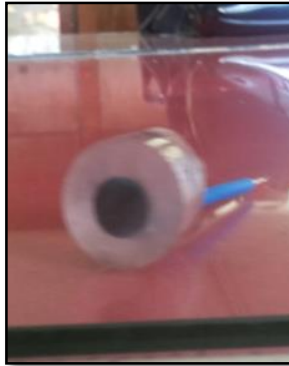


Gambar 3.4 Pengujian *weight loss*



b. Uji Polarisasi EIS

- Spesimen yang digunakan sama dengan spesimen *weight loss* yaitu menggunakan baja API 5L Grade B dipotong menjadi ukuran EIS Ø 10mm x 5 mm diberi lubang pada ujung tengah spesimen 2mm yang digunakan untuk mengikat spesimen dengan menggunakan benang nilon.
- Spesimen yang telah dipotong kemudian diampas seluruh permukaannya untuk mendapatkan permukaan yang halus dan rata.. Pengamplasan dilakukan mulai dari grade 200, 280, 300, 400, 500, 600, 800, 1000.
- Setelah permukaan halus spesimen dihubungkan dengan kawat tembaga yang telah dibungkus plastik (kabel) sepanjang 5cm dengan menggunakan solder timah.
- Spesimen yang telah terhubung dengan kawat tembaga, spesimen di moulding dengan menggunakan resin epoxy dan dicetak menggunakan pipa *shock* berdiameter 2,3 cm.
- Setelah selesai dimoulding dengan resin epoxy, permukaan spesimen yang tidak tertutup dihaluskan kembali menggunakan kertas amplas grade 200, 280, 300, 400, 500, 600, 800, 1000 untuk memperoleh permukaan yang rata. Penampakan visual dari spesimen untuk pengujian potensiodinamik dapat dilihat seperti gambar 3.5 berikut ini.



Gambar 3.5 Spesimen Uji EIS

3.4.2 Preparasi Larutan

a. Uji *Weight loss*

- Menyiapkan 400 mL larutan HCl 32% untuk dilarutkan sampai volume larutan 1000 mL aquades untuk mendapatkan HCl 1 M, kemudian simpan dalam wadah yang besar (dirigen).
- Untuk pengujian *weight loss* volume yang dibutuhkan dalam setiap wadah adalah 400 mL. Hal ini berdasarkan ASTM G31-72, untuk pengujian rendam skala laboratorium, volume larutan minimal untuk pengujian adalah :

$$V = \left(0.2 \frac{s}{a} 0.4\right) \times (\text{luas permukaan sample})$$

Luas permukaan sampel:

$$= (2 \times p \times l) + (2 \times p \times t) + (2 \times l \times t) - (2\pi r^2) + (t \times 2\pi r)$$



$$= (2 \times 20 \times 20) + (2 \times 20 \times 3) + (2 \times 20 \times 3) - (2\pi 2^2) + (3 \times 2\pi 2)$$

$$= (800 + 120 + 120) - (251,2 + 37,68) = 977,2 \text{ mm}^2$$

Jika diambil batas atasnya sebesar 0,4% dari luas permukaan sampel, maka :

$$\begin{aligned}\text{Volume minimal} &= 977,2 \times 0,4 \\ &= 390,8 \approx 400 \text{ mL}\end{aligned}$$

Volume minimal larutan yang digunakan sebuah sampel dengan luas permukaan 977,2 mm² adalah 400 mL. Dalam penelitian volume yang digunakan adalah 1200 mL untuk setiap wadah plastik karena terdapat 3 spesimen sebagai replikasi data. Sehingga dibutuhkan HCl 1 M masing-masing sebanyak 18 L.

Perhitungan untuk pembuatan larutan HCl 1 M terlampir pada lampiran B.

b. Uji Polarisasi Potensiodinamik

- Menyiapkan 95,8 mL larutan HCl 32% untuk dilarutkan sampai volume larutan 1000 mL dengan aquades untuk mendapatkan HCl 1 M, kemudian simpan dalam wadah yang besar (dirigen).
- Pada uji polarisasi potensiodinamik dibutuhkan 1000 ml larutan untuk sekali pengujian sesuai dengan kapasitas tabung pada alat potensiostat.

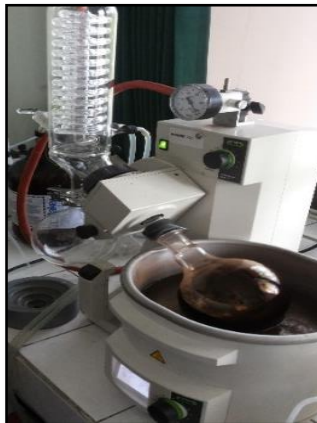
3.4.3 Preparasi Inhibitor

- Proses ekstraksi yang digunakan untuk mendapatkan ekstrak sarang semut adalah dengan proses maserasi. Proses maserasi adalah salah satu cara ekstraksi yang dilakukan dengan merendam tanaman yang telah dikeringkan dalam



bentuk serbuk dengan menggunakan pelarut. Pelarut yang digunakan adalah ethanol 80%.

- Serbuk sarang semut 1 kg direndam menggunakan ethanol 80% sebanyak 3 L kemudian dimaserasi selama 24 jam.
- Kemudian larutan ekstrak disaring dengan kertas saring sehingga menghasilkan ekstrak air sarang semut.
- Ekstrak yang masih cair tersebut kemudian diproses menggunakan *rotary evaporator* untuk memisahkan pelarut dan zat yang terekstrak. Sehingga didapatkan solid ekstrak yang digunakan sebagai inhibitor. Kemudian kita dapat melakukan remaserasi terhadap ampas sarang semut untuk ditambahkan pelarut jika jumlah ekstrak belum memenuhi untuk proses pengujian selanjutnya. Proses ekstraksi ditunjukkan pada gambar 3.6 berikut.



Gambar 3.6 Proses Ekstraksi Sarang Semut



3.4.4. Pengujian

3.4.4.1 Uji *Electrochemical Impedance Spectroscopy*

Pengujian EIS dilakukan dengan menggunakan *software* versastat 4 yang terdiri dari elektroda kerja, elektroda acuan dan elektroda bantu. *Electrochemical Impedance Spectroscopy* adalah suatu metode untuk menganalisis respon suatu elektroda yang terkorosi terhadap sinyal potensial AC sebagai fungsi frekuensi. Metode EIS dimaksudkan untuk mengetahui mekanisme inhibisi pada logam dengan inhibitor apakah secara kinetika dikontrol oleh transfer muatan ataupun transfer massa. Pada prinsipnya EIS digunakan untuk menentukan parameter kinetika elektrokimia berkaitan dengan elemen-elemen listrik seperti tahanan, R , kapasitansi, C , dan induktansi, L . Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian EIS dengan variasi media korosif HCl 1 serta konsentrasi inhibitor sarang semut (*Myrmecodia Pendans*), 0, 100 dan 500 mg/l. Hasil dari EIS akan difitting menggunakan *software* Nova untuk mendapatkan parameter-parameter seperti R_s , C_{dl} , dan R_{ct} .



Gambar 3.7 Peralatan *Electrochemical Impedance Spectroscopy*



Tabel 3.2 Parameter yang digunakan untuk Pengujian EIS

Elektrode Kerja	API 5L Grade B
Equivalent Weight (g)	27.92
Densitas (g/ml)	7.87
Luasan Terekspos (cm ²)	1
Counter Electrode	Grafit
Reference Electrode	Standart Calomel Electrode (SCE)
Start Frequency (Hz)	10000
Finish Frequency (Hz)	0.1
Amplitude (mV RMS)	10

3.4.4.3 Uji *Weight loss*

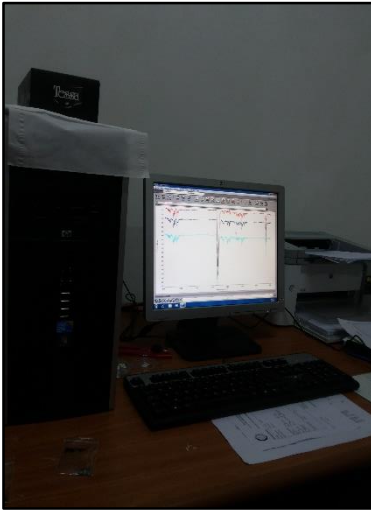
Pengujian *weight loss* atau lebih dikenal dengan metode pengurangan berat adalah metode yang dilakukan untuk mengetahui besaran laju korosi (mpy) pada suatu material berdasarkan pengurangan berat awal dan berat akhir. Dalam metode ini, sampel dengan berat tertentu akan dicelupkan dalam larutan atau lingkungan tertentu pada beberapa waktu yang berbeda. Dengan metode ini, berat hilang yang diakibatkan proses korosi ditentukan. Jika produk korosi mudah dihilangkan (*non-adherent*) maka dapat dihilangkan secara mekanikal. Tetapi jika produk korosi berikatan kuat dihilangkan dengan metode elektrokimia. Pada penelitian ini akan dilakukan uji *weight loss* untuk efisiensi inhibitor



tertinggi dari hasil pengujian polarisasi potensiodinamik dalam media korosif HCl 1 M selama 10 jam dengan pengukuran disetiap kelipatan dua jam. Pembersihan produk korosi dilakukan secara mekanikal menggunakan sikat gigi dan elektrokimia menggunakan campuran HCL 5M.

3.4.4.4 Penentuan Produk Korosi dengan FTIR

Pengujian FTIR digunakan untuk mengidentifikasi suatu senyawa yang belum diketahui karena spektrum yang dihasilkan spesifik untuk senyawa tersebut. Metode spektroskopi yang digunakan dalam pengujian FTIR adalah metoda absorpsi yaitu suatu metoda yang didasarkan atas perbedaan penyerapan radiasi inframerah. Spektrum inframerah tersebut dihasilkan dari pentransmisiian cahaya yang melewati *sample*, pengukuran intensitas cahaya dengan detektor dan dibandingkan dengan intensitas tanpa sampel sebagai fungsi dari panjang gelombang. Dari panjang gelombang tersebut, akan dapat ditentukan senyawa organik yang bersesuaian dengan panjang gelombang yang terekam pada ekstrak sarang semut. Pengujian FTIR relatif banyak digunakan karena cepat dan relatif murah, dapat digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsional dalam suatu molekul, dan juga spektrum *infrared* yang dihasilkan oleh suatu senyawa mempunyai ciri khas. Dalam melakukan pengujian FTIR yang khusus diperuntukkan kepada ekstrak sarang semut adalah untuk mengetahui senyawa yang terkandung dalam ekstrak sarang semut tersebut. Pengujian FTIR dilakukan dengan mengambil sedikit sampel dari serbuk sarang semut kemudian hasil yang diperoleh adalah berupa *peak* atau gelombang dengan intensitas yang berbeda-beda dan juga terdapat senyawa yang terkandung dalam serbuk sarang semut.



Gambar 3.8 Peralatan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR)



3.5 Rancangan Pengambilan Data Penelitian

Untuk memudahkan penelitian selama percobaan disusun rancangan percobaan yang dilakukan seperti berikut :

Tabel 3.3 Rancangan Percobaan dengan Metode EIS

Medium	Inhibitor (mg/L)	Pengujian	R_s ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)	C_{dl} ($\text{F} \cdot \text{cm}^2$)	R_{ct} ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)
Sarang Semut dalam HCl 1 M	0	1			
		2			
		3			
	100	1			
		2			
		3			
	200	1			
		2			
		3			
	300	1			
		2			
		3			
	400	1			
		2			
		3			
	500	1			
		2			
		3			



Tabel 3.4 Rancangan Percobaan Metode *Weight loss*

Medium	Hari	No. Spesimen	Wo (gram)	Wa (gram)	Laju Korosi (mpy)	IE (%)
Sarang Semut dalam HCl 1 M	2	1				
		2				
		3				
	4	1				
		2				
		3				
	6	1				
		2				
		3				
	8	1				
		2				
		3				
	10	1				
		2				
		3				

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

Setelah dilakukan pengujian, maka didapatkan hasil penelitian sebagai berikut:

4.1.1 Hasil Pengujian *Weight Loss*

Pengujian *weight loss* dilakukan untuk mengetahui pengurangan berat suatu material setelah dilakukan perendaman dalam waktu tertentu. Pengujian ini dilakukan pada baja API 5L Grade B media HCl 1M pada konsentrasi inhibitor sarang semut 0, 100 dan 500 mg/l dengan temperatur 30°C, 40°C dan 50 °C. Dimana perendaman dilakukan selama 10 jam dengan interval pengambilan data per 2 jam. Dalam setiap wadah gelas kaca terdapat tiga buah spesimen. Hal ini, dimaksudkan agar mendapatkan replikasi data yang akurat. Data pengurangan berat yang didapatkan digunakan untuk menghitung laju korosi dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Laju Korosi} = \frac{K.W}{D.A.T} \dots\dots\dots(4.1)$$

Dimana :

- W = Berat yang hilang (gram)
- D = Berat jenis logam (gram/cm³)
- A = Luas permukaan kontak (cm²)
- T = Waktu paparan (jam)
- K = Konstanta laju korosi (mpy = 3,45x10⁶)

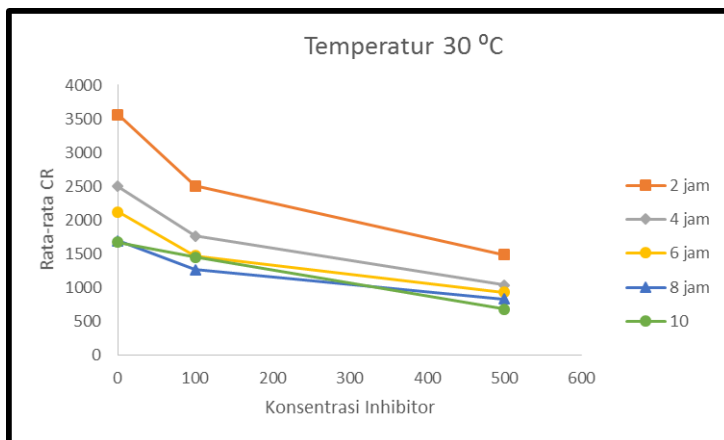
Sedangkan untuk menentukan efisiensi inhibisi menggunakan persamaan seperti di bawah ini :

$$I = \frac{(CR)_o - (CR)_i}{(CR)_o} \times 100 \dots\dots\dots(4.2).$$

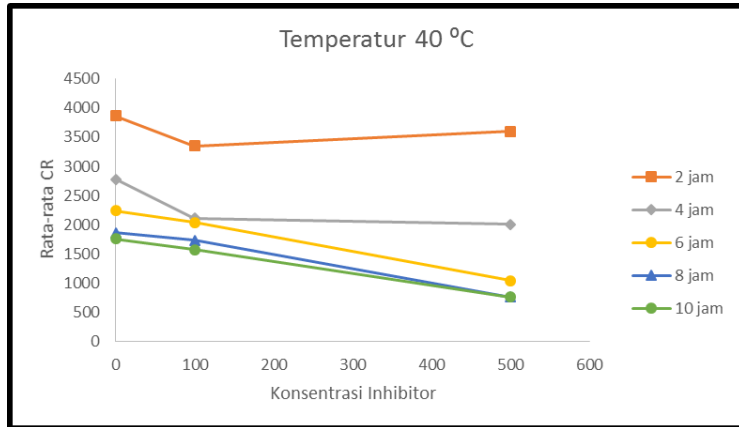
Berdasarkan data perendaman yang diaplikasikan pada baja API 5 L Grade B, laju korosi terendah maupun efisiensi



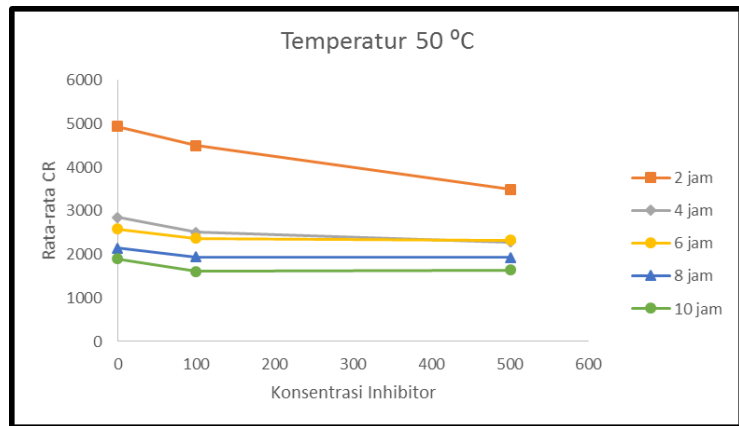
inhibitor tertinggi berada pada konsentrasi 500 mg/l. Dimana laju korosi akan semakin turun jika adanya penambahan inhibitor sarang semut seiring dengan bertambahnya waktu perendaman, artinya efisiensi inhibisi semakin meningkat. Sedangkan kebalikannya, apabila suatu logam tanpa adanya penambahan inhibitor maka laju korosi akan semakin cepat terjadi. Hal ini dikarenakan seiring dengan penambahan konsentrasi inhibitor pada larutan, maka inhibitor akan berperilaku sebagai pelindung maupun pengisolasi lingkungannya dengan jalan membentuk lapisan tipis pada permukaan logam. Berikut merupakan grafik laju korosi pada masing-masing variasi konsentrasi :



Gambar 4.1 Grafik Pengaruh Laju Korosi Terhadap Konsentrasi HCl 1M di Temperatur 30°C.



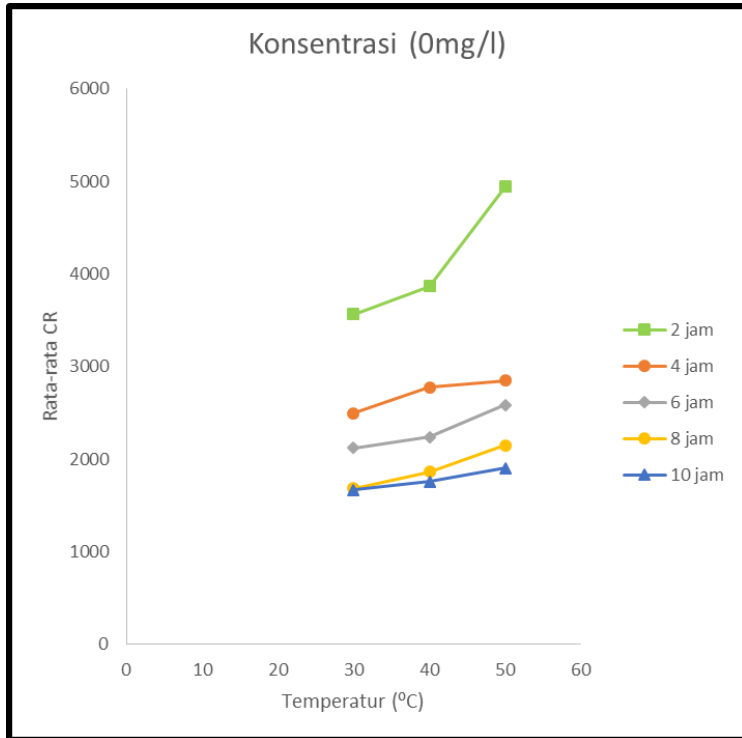
Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Laju Korosi Terhadap Konsentrasi HCl 1M di Temperatur 40°C.



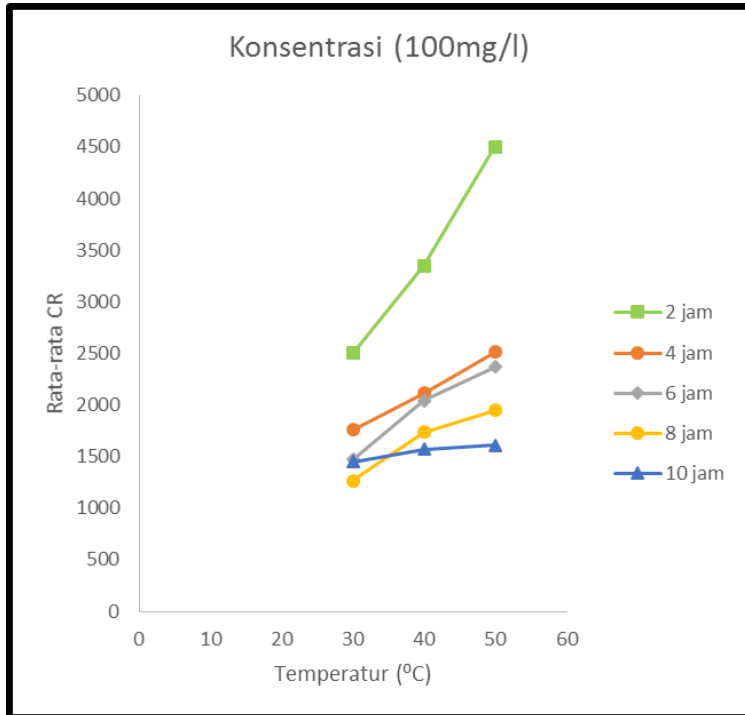
Gambar 4.3 Grafik Pengaruh Laju Korosi Terhadap Konsentrasi HCl 1M di Temperatur 50°C.



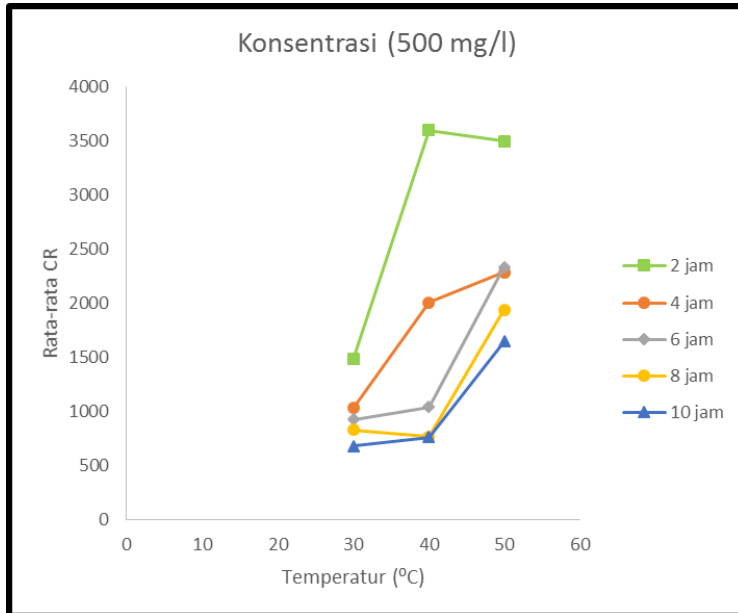
Berdasarkan gambar grafik 4.1, 4.2 dan 4.3 dapat memberikan informasi bahwa semakin besar jumlah konsentrasi inhibitor, maka semakin turun tingkat laju korosi pada Baja API 5L Grade B. Sebaliknya, jika laju korosinya semakin meningkat maka, konsentrasi inhibitor yang ditambahkan semakin sedikit. Dapat dilihat dari ketiga gambar grafik menunjukkan bahwa laju korosi tertinggi sebesar 4943.569mpy berada pada 0mg/l HCl 1M atau bisa dikatakan tanpa adanya penambahan inhibitor sarang semut pada larutan tersebut. Sedangkan pada laju korosi terendah sebesar 677.725mpy berada pada 500mg/l HCl 1M. Hal ini terjadi dikarenakan semakin besar jumlah konsentrasi inhibitor sarang semut, maka semakin tebal terbentuknya lapisan tipis yang dapat dijadikan sebagai penghambat laju korosi. Proses ini akan terus terjadi hingga pada suatu titik dimana inhibitor tdk dapat mengadsorpsi dan sudah mencapai titik jenuh, maka laju korosi pada spesimen menjadi konstan. Seperti ditunjukan pada gambar 4.2 ditunjukan bahwa di konsentrasi inhibitor 500mg/l mengalami kenaikan dibandingkan dengan konsentrasi sebelumnya yaitu 100mg/l. Berikut merupakan grafik laju korosi pada masing-masing variasi temperatur :



Gambar 4.4 Grafik Pengaruh Laju Korosi Terhadap Temperatur Tanpa Penambahan Inhibitor Media HCL 1M.



Gambar 4.5 Grafik Pengaruh Laju Korosi Terhadap Temperatur Dalam Media HCL 1M 100 mg/l.



Gambar 4.6 Grafik Pengaruh Laju Korosi Terhadap Temperatur Dalam Media HCL 1M 500 mg/l.

Berdasarkan gambar grafik 4.4, 4.5 dan 4.6 dapat memberikan informasi bahwa semakin tinggi temperatur dalam suatu larutan, maka semakin tinggi laju korosi pada media larutan HCL 1M. Sebaliknya, jika temperatur yang berada di konsentrasi HCL 1M semakin rendah, maka laju korosi nya akan semakin lambat. Dapat dilihat dari ketiga gambar grafik menunjukan bahwa laju korosi tertinggi di temperatur 50 °C pada 0mg/l HCL 1M. Sedangkan pada laju korosi terendah di temperatur 30°C pada 500mg/l HCL 1M. Hal ini terjadi dikarenakan semakin semakin tinggi temperature yang berada pada setiap konsentrasi HCL 1M, maka akan semakin meningkat juga laju korosinya. Proses ini



akan terus terjadi hingga pada suatu titik dimana inhibitor tdk dapat mengadsorpsi dan sudah mencapai titik jenuh, maka laju korosi pada spesimen menjadi konstan.

Pengujian weight loss merupakan pengujian yang digunakan untuk mengetahui laju korosi (mpy) dengan menggunakan pengurangan berat dari suatu material secara *real time*. Pengujian dilakukan pada baja karbon rendah Baja API 5L grade B konsentrasi HCl 1M sebanyak 0mg/l, 100mg/l, 500mg/l di temperatur 30⁰C, 40⁰C, 50⁰C. Dilakukan perendaman selama 10 jam dengan interval pengambilan data setiap 2 jam. Berikut hasil data pengujian yang diperoleh setelah melakukan percobaan seperti berikut :



Tabel 4.1 Data Pengurangan Berat Spesimen di temperature 30 °C pada Pengujian *Weight Loss*

Temperatur (°C)	Konsentrasi (mg/l)	Waktu (jam)	Laju Korosi (mpy)	Efisiensi Inhibitor (%)
30	0	2	3563.59	0
		4	2499.23	0
		6	2121.29	0
		8	1687.88	0
		10	1667.98	0
	100	2	3563.59	29.82
		4	2499.23	29.58
		6	2121.29	30.62
		8	1687.88	25.11
		10	1667.98	13.21
	500	2	3563.59	58.34
		4	2499.23	58.67
		6	2121.29	56.42
		8	1687.88	50.84
		10	1667.98	59.37



Tabel 4.2 Data Pengurangan Berat Spesimen di temperature 40 °C pada Pengujian *Weight Loss*

Temperatur (°C)	Konsentrasi (mg/l)	Waktu (jam)	Laju Korosi (mpy)	Efisiensi Inhibitor (%)
40	0	2	3864.63	0
		4	2778.83	0
		6	2239.36	0
		8	1864.56	0
		10	1755.81	0
	100	2	3864.63	13.32
		4	2778.83	23.84
		6	2239.36	8.81
		8	1864.56	6.85
		10	1755.81	10.52
	500	2	3864.63	6.92
		4	2778.83	27.87
		6	2239.36	53.47
		8	1864.56	58.84
		10	1755.81	56.57



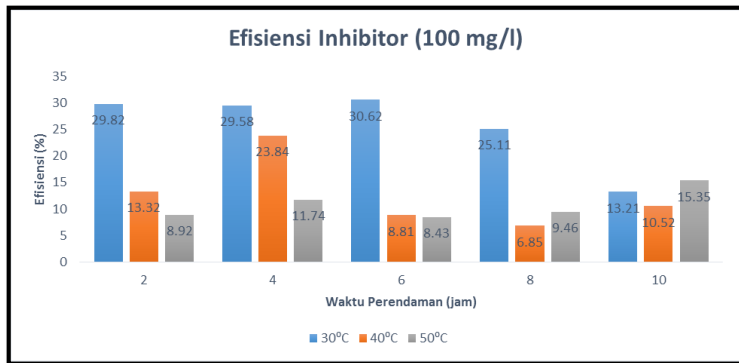
Tabel 4.3 Data Pengurangan Berat Spesimen di temperature
 50 °C pada Pengujian *Weight Loss*

Temperatur (°C)	Konsentrasi (mg/l)	Waktu (jam)	Laju Korosi (mpy)	Efisiensi Inhibitor (%)
50	0	2	4943.57	0
		4	2848.3	0
		6	2584.14	0
		8	2149.09	0
		10	1900.92	0
	100	2	4943.57	8.91
		4	2848.3	11.74
		6	2584.14	8.43
		8	2149.09	9.46
		10	1900.92	15.35
	500	2	4943.57	29.27
		4	2848.3	19.74
		6	2584.14	9.73
		8	2149.09	9.85
		10	1900.92	13.37

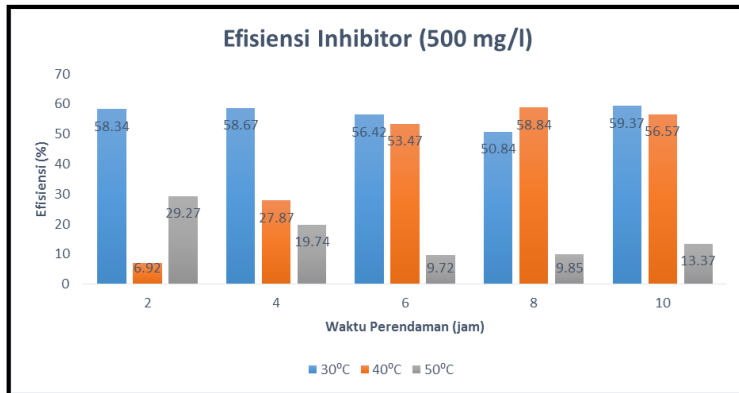
Dari Tabel 4.1, 4.2 dan 4.3 kurva laju korosi menunjukkan bahwa laju korosi tertinggi berada di temperatur 50°C konsentrasi inhibitor sarang semut 0 mg/l media HCl 1M dalam waktu perendaman 2 jam sebesar 4943.57mpy. Untuk kurva laju korosi terendah berada di temperatur 30°C pada konsentrasi inhibitor sarang semut 500 mg/l media HCl 1M dalam waktu perendaman 10 jam sebesar 677.73mpy. Sedangkan efisiensi terendah di temperatur 40°C pada konsentrasi inhibitor sarang semut 100 mg/l media HCl 1M sebesar 6.85% dan efisiensi tertinggi di temperature 30°C pada konsentrasi inhibitor sarang semut 500 mg/l media HCl 1M



sebesar 59.37%.



Gambar 4.7 Persentase Efisiensi Inhibitor Sarang Semut pada Baja API 5L Grade B di 100 mg/l HCl 1M.



Gambar 4.8 Persentase Efisiensi Inhibitor Sarang Semut pada Baja API 5L Grade B di 500 mg/l HCl 1M.

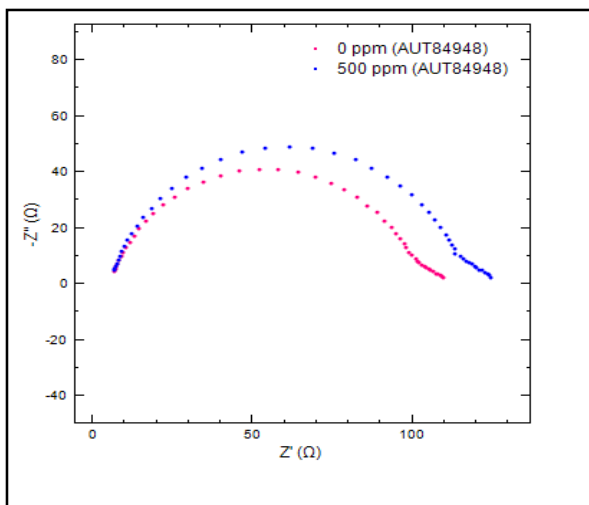
Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan



menunjukkan bahwa dari Gambar 4.7 dan 4.8 terjadi perubahan laju korosi dan efisiensi sebelum dan sesudah diberi inhibitor sarang semut. Hal ini terjadi disebabkan karena adanya dua faktor, yaitu penambahan ekstrak sarang semut dan temperatur ketika proses perendaman spesimen. Seiring meningkatnya temperatur dan laju korosi mengakibatkan semakin turunnya efisiensi inhibisi. Akan tetapi, jika temperatur dan penambahan inhibitor semakin turun artinya efisiensi inhibisi semakin meningkat. Sedangkan kebalikannya, apabila suatu logam tidak diberi inhibitor maka laju korosi akan semakin cepat terjadi.

4.1.2 Hasil Pengujian Metode EIS

Pada prinsipnya metode EIS atau Spektroskopi Impedansi Elektrokimia (*electrochemical impedance spectroscopy*) digunakan untuk menentukan parameter kinetika elektrokimia berkaitan dengan unsur-unsur listrik seperti tahanan, R , kapasitansi, C , dan induktansi, L (Jones, 1992). Berdasarkan serangkaian pengujian dari *Weight Loss* yang telah dilakukan diketahui efisiensi inhibitor tertingginya. Kemudian diperoleh grafik hasil pengujian EIS pada gambar 4.7 sebagai berikut :

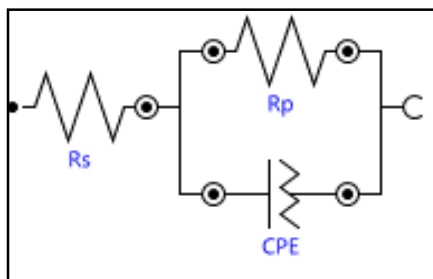


Gambar 4.7 Hasil pengujian EIS Baja API 5L dengan variasi konsentrasi 0mg/l dan 500mg/l inhibitor sarang semut dalam larutan HCl 1M.

Berdasarkan Nyquist plot pada gambar 4.7 diatas dapat memberikan informasi bahwa diameter Nyquist plot meningkat. Dimana, dapat ditunjukkan dengan sebelum penambahan inhibitor dan setelah ditambah inhibitor sarang semut. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pemberian ekstrak sarang semut dapat menghambat laju korosi pada baja API 5L grade B di media HCL 1M. Untuk mengetahui mekanisme inhibisi sarang semut grafik dari hasil EIS mulanya diekspor ke *software Nova*. Kemudian dilakukan fitting dengan membuat *equivalent circuit* terlebih dahulu. *Equivalent circuit* berfungsi menjelaskan parameter elektrokimia dalam pengujian EIS, melalui parameter elektrokimia tersebut mekanisme inhibisi pada inhbitor dapat diketahui. Dari *Equivalent circuit* dapat diketahui jenis elemen sirkuit yang cocok dengan sistem. Pilihan jenis elemen sirkuit yang ada

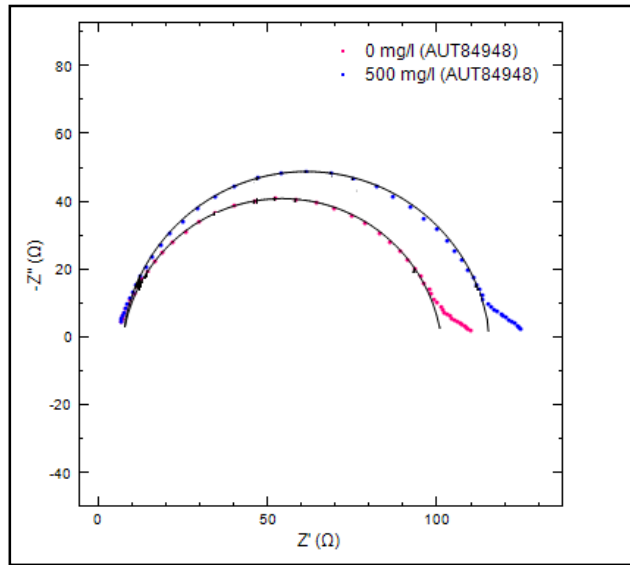


antara lain R-resistor, C-kapasitor, L-Induktor, CPE-Constant Phase element, W-Warburg dan lain-lain. Berikut gambar merupakan *equivalent circuit* yang digunakan untuk memfitting *nyquist plot* yang telah diekspor di *software Nova*.



Gambar 4.8 *Equivalent circuit* dari plot Nyquist pada *software Nova* dalam arutan HCl 1M.

Dalam *equivalent circuit* diperoleh parameter-parameter elektrokimia ketahanan transfer muatan (R_{ct}), ketahanan larutan (R_s), dan kapasitansi *double layer* (C_{dl}). Berikut dapat merupakan fitting grafik Nyquist menggunakan *software NOVA* menghasilkan nilai-nilai elektrokimia yang dapat dianalisa untuk mengetahui bagaimana mekanisme inhibisi dari konsentrasi inhibitor yang ditambahkan :



Gambar 4.9 Hasil fitting EIS Baja API 5L Gr B konsentrasi 500mg/l di HCl 1M.

Dari hasil fitting setelah melakukan pengujian EIS diketahui nilai-nilai dari R_s , R_{ct} , dan C_{dl} saat sebelum diberi inhibitor dan setelah diberi inhibitor sarang semut sebesar 500mg/l dalam larutan HCl 1M. Berikut pada Tabel 4.4 merupakan nilai-nilai dari parameter hasil fitting EIS dari *Software Nova*.

Tabel 4.4 Hasil *equivalent circuit* inhibitor sarang semut dalam larutan HCl 1 M.

Konsentrasi Inhibitor	R_p (Ω)	R_s (Ω)	R_{ct} (Ω)	CPE (μF)	%EI
0	64.114	7.122	93.909	101.119	0
500	6.3105	7.171	108.29	86.787	14.173



Berdasarkan hasil pengujian dengan metode EIS diketahui mekanisme inhibisi dari inhibitor sarang semut dalam larutan HCl 1M setelah melihat *equivalent circuit*. Dari *equivalent circuit* diketahui mekanisme inhibisi dari inhibitor sarang semut dalam larutan HCl 1M sebelum penambahan inhibitor dan sesudah penambahan inhibitor sarang semut sebesar 500mg/l adalah sama. Hal ini terjadi dikarenakan menggunakan *equivalent circuit* yang sama. Dalam *equivalent circuit* dapat dijumpai R_s , R_{ct} , CPE. R_s merupakan tahanan larutan, R_{ct} adalah tahanan yang terjadi akibat transfer muatan antara larutan elektrolit dengan atom-atom logam. Sedangkan CPE (constant phase element) berperan sebagai kapasitas *double layer* yang dihasilkan dari proses inhibisi ekstrak sarang semut pada logam. Berdasarkan circuit yang terbentuk menunjukkan bahwa reaksi yang terjadi pada sistem adalah diawali dengan adanya tahanan larutan (R_s), hal ini menunjukkan bahwa dalam setiap larutan memiliki tahanan yang berbeda.

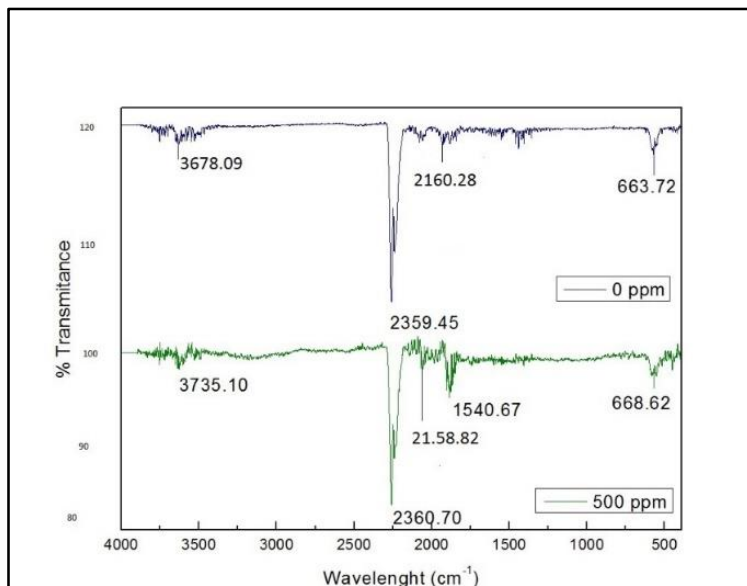
Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa baja API 5L dicelupkan ke dalam larutan elektrolit HCl 1M maka EIS akan mendeteksi larutan HCl 1M tersebut dan menghasilkan tahanan yang berupa tahanan larutan (R_s). Dapat dilihat dari tabel 4.7 nilai R_{ct} pada konsentrasi 0mg/l adalah 93.909 Ω , sedangkan nilai R_{ct} untuk konsentrasi 500 mg/L adalah 108.29 Ω . Tahanan ini mewakili adanya perpindahan muatan pada antar muka logam-larutan dimana nilainya akan meningkat akibat penambahan inhibitor sehingga mengindikasikan adanya lapisan pasif yang terbentuk pada permukaan logam. Lapisan ini mengakibatkan pergerakan ion dari elektrolit menuju logam terhambat. Semakin banyak lapisan pasif yang terbentuk maka nilai R_{ct} akan semakin besar sedangkan nilai C_{dl} akan semakin kecil. Turunnya nilai C_{dl} dikarenakan adanya pergantian-pergantian molekul air oleh molekul-molekul inhibitor pada interface atau bidang pemisah dari electrical double layer yang menandakan



bahwa adsorpsi ekstrak sarang semut membuat lapisan pada permukaan baja API 5L grade B di dalam larutan asam.

4.1.3 Hasil Pengujian FTIR

Pengujian FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) dilakukan untuk mengetahui gugus fungsional dan senyawa yang terkandung dalam ekstrak sarang semut (*Myrmecodia Pendans*). Prinsip kerja dari pengujian FTIR yaitu menggunakan metoda adsorpsi dimana suatu metoda yang didasarkan atas perbedaan penyerapan radiasi inframerah. Spektrum inframerah tersebut dihasilkan oleh pentransmisian cahaya yang melewati *sample* dan pengukuran intensitas cahaya dengan detektor, yang kemudian dapat dibandingkan dengan intensitas cahaya tanpa *sample* sebagai fungsi dari panjang gelombang. Dari panjang gelombang tersebut, dapat ditentukan senyawa organik yang bersesuaian dengan hasil sarang semut yang telah diekstrak. Sarang semut terlebih dahulu diekstrak agar dapat memaksimalkan kandungan kimia yang terdapat didalamnya. Berikut merupakan hasil pengujian *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) dapat ditunjukkan oleh gambar 4.10.



Gambar 4.10 Hasil Pengujian FTIR dari Produk Korosi yang Dihasilkan Baja API 5L Gr B.

Dari hasil gambar diatas dapat diketahui perbedaan struktur atau ikatan kimia dari lapisan pasif yang terbentuk dari Baja API 5L Gr B dengan sarang semut. Dimana sumbu absis *wavenumber* dalam satuan cm^{-1} . Wavenumber atau sering disebut dengan frekuensi unit. Frekuensi tersebut merupakan frekuensi gugus yang terjadi sebagai hasil interaksi dengan getaran lain yang terkait antara satu atau dua atom yang menyusun gugus fungsi tersebut. Oleh karena itu serapan maksimum untuk gugus fungsi dapat ditentukan.

Hasil pengujian pada gambar 4.10 memperlihatkan posisi serapan tanpa penambahan inhibitor sarang semut dan 500mg/l dalam media HCl 1M. Berikut rangkuman hasil pengujian FTIR dengan pick-pick yang terdapat di *Wavenumber* :



Tabel 4.5 Hasil Pengujian FTIR antara *Wavenumber* pada Ekstrak Sarang Semut

<i>Wavenumber (cm-1)</i> HCl 1M 0ppm	<i>Wavenumber (cm⁻¹)</i> HCl 1M 500ppm
3670.09	3735.10
2359.45	2360.27
2160.28	2158.82
663.72	1540.60
-	668.62

Dari gambar 4.5 diketahui pick-pick yang terdapat pada hasil pengujian FTIR. Dari pick-pick *Wavenumber* yang telah diketahui maka dapat diidentifikasi ikatan kimia yang terdapat pada lapisan yang terbentuk antara baja API 5L Gr B dengan sarang semut. Berikut daerah serapan yang masih termasuk dalam gugus fungsi dari ikatan kimia yang menjadi syarat utama sarang semut dapat digunakan sebagai inhibitor, yaitu :



Tabel 4.6 Analisa Daerah Serapan dan Ikatan Kimia untuk
Masing-masing Puncak Pick Sarang Semut

Daerah Serapan (cm ⁻¹)	Jenis Senyawa (Ikatan Kimia)	Gugus Fungsi	Konsentrasi
3678.09	O-H	Alkohol	0 mg/l
2359.45	C-H	Alkana	
2160.28	C-H	Alkana	
663.72	C-C	Ketona	
3735.10	O-H	Alkohol	500 mg/l
2360.27	C-H	Alkana	
2160.28	C-H	Alkana	
1540.67	C=C	Aromatic	
663.72	C-C	Ketona	

Berdasarkan tabel 4.5 dapat dilihat bahwa puncak tanpa penambahan inhibitor sarang semut memiliki daerah serapan sebesar 3678.09 (cm⁻¹) yang menunjukkan ikatan O-H dengan gugus fungsi alkohol. Berikutnya memiliki daerah serapan sebesar 2359.45(cm⁻¹) yang menunjukkan ikatan C-H dengan gugus fungsi alkana. Selanjutnya memiliki daerah serapan sebesar 2160.28(cm⁻¹) yang menunjukkan ikatan C-H dengan gugus fungsi alkana. Setelah itu, memiliki daerah serapan sebesar 663.72 (cm⁻¹) yang menunjukkan ikatan C-C dengan gugus fungsi ketona. Sedangkan pada konsentrasi 500mg/l, memiliki daerah serapan sebesar 3735.1(cm⁻¹) yang menunjukkan ikatan O-H dengan gugus fungsi alkohol. Selanjutnya, memiliki daerah serapan sebesar 2360.27(cm⁻¹) yang menunjukkan ikatan C-H dengan gugus fungsi alkana. Berikutnya memiliki daerah serapan sebesar 2160.28(cm⁻¹) yang menunjukkan ikatan C-H dengan gugus fungsi alkana. Kemudian memiliki daerah serapan sebesar 1540.67 (cm⁻¹)



yang menunjukkan ikatan C=C dengan gugus fungsi aromatik. Dan yang terakhir, memiliki daerah serapan sebesar 668.62 (cm⁻¹) menunjukkan ikatan C-C dengan gugus fungsi ketona. Dari pengujian ini dapat diartikan bahwa nilai pick-pick yang berasal dari *Wavenumber* merupakan golongan senyawa aktif pada ekstrak sarang semut merupakan senyawa aromatik atau fenolik. Senyawa fenolik adalah suatu jenis dari golongan senyawa flavanoid dan tripernoid (Lathifah, 2008). Senyawa-senyawa yang mengandung gugus fenolik telah lama diketahui memiliki sifat antioksidan. Fenolik merupakan antioksidan yang dengan sifat redoksnya memungkinkan senyawa ini berfungsi sebagai reduktor dan donator hidrogen.

4.1.4 Mekanisme Adsorpsi

Dalam pengujian kali ini mekanisme adsorpsi merupakan metode pengujian yang digunakan untuk mengetahui interaksi Antara inhibitor sarang semut dengan permukaan baja API 5L Gr B. Pada saat logam di imersi dalam larutan elektrolit dan diberi penambahan inhibitor selalu diselimuti oleh dipol-dipol molekul air yang teradsorpsi. Oleh karenanya, adsorpsi molekul inhibitor pada larutan elektrolit adalah sebuah proses quasi substitusi. Efisiensi inhibitor berkaitan dengan fraksi dari permukaan yang di tutupi oleh adsorpsi dari molekul inhibitor. Fraksi permukaan yang tertutupi diperoleh dari data metode pengujian *weight loss*. Derajat dari *surface coverage* Θ dihitung menggunakan persamaan seperti berikut :

$$\Theta = IE\% / 100 \dots\dots\dots (4.1)$$

Dari persamaan diatas dapat ditentukan, nilai Θ di setiap konsentrasi inhibitor ekstrak sarang semut.



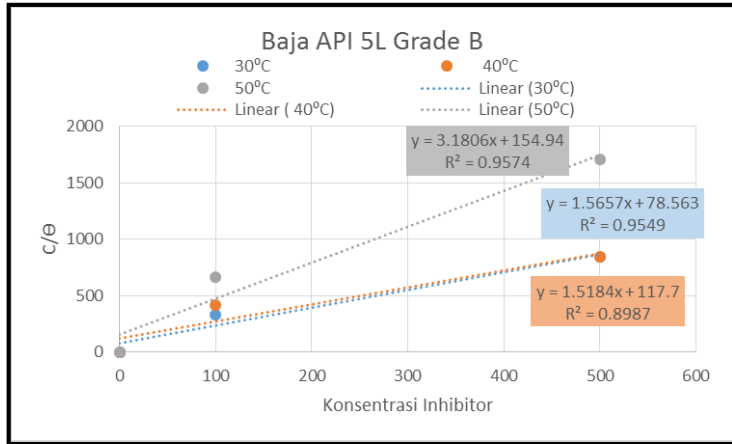
Tabel 4.7 Derajat *Surface Coverage* pada API 5 L Grade B

30°C			
konsentrasi	Efisiensi Inhibitor	Derajat Surface Coferage	C/Θ
0	0	0	0
100	30.619	0.3	333.33
500	59.369	0.594	841.75
40°C			
konsentrasi	Efisiensi Inhibitor	Derajat Surface Coferage	C/Θ
0	0	0	0
100	23.843	0.24	416.67
500	58.843	0.59	847.46
50°C			
konsentrasi	Efisiensi Inhibitor	Derajat Surface Coferage	C/Θ
0	0	0	0
100	15.3492	0.15	666.67
500	29.268	0.293	1706.5

Dari tabel 4.5 menunjukkan bahwa hubungan antara derajat *surface coverage* yang terlihat sebanding dengan nilai dari efisiensi inhibitor. Dimana baja API 5L Grade B mengalami kenaikan derajat *surface coverage* seiring dengan kenaikan efisiensi inhibitor dan konsentrasi inhibitor sarang semut pada HCL 1M. Nilai terendah berada pada konsentrasi 100 mg/l di temperatur 50°C yaitu sebesar 0,15. Sedangkan nilai derajat *surface coverage* (Θ) tertinggi berada pada konsentrasi 500 mg/l di temperatur 30°C yaitu sebesar 0,59. Hal ini membuktikan bahwa dengan banyaknya konsentrasi inhibitor yang ditambahkan pada permukaan logam, maka



jumlah molekul inhibitor tertentu yang terdapat pada permukaan logam akan semakin banyak. Sehingga mempengaruhi *surface coverage* pada permukaan logam baja API 5L Grade B.



Gambar 4.11 Pengaruh Penambahan Konsentrasi Inhibitor Terhadap *Surface Coverage*

Untuk menentukan adsorpsi yang terjadi pada inhibitor dapat dihitung melalui persamaan *Langmuir adsorption isotherm* yaitu sebagai berikut :

$$\frac{C}{\theta} = \frac{1}{k} + C \dots\dots\dots(4.2)$$

$$k = \frac{1}{55.5} \exp \left(\frac{-\Delta G^0_{ads}}{RT} \right) \dots\dots\dots(4.3)$$

Dimana :
 C = Konsentrasi Inhibitor (g/l)
 k = Konstanta Adsorpsi



T = Temperatur (K)

R = Konstanta Gas Ideal (8.314 J/mol K)

ΔG^0_{ads} = Standart Energi Bebas Adsorpsi (kJ/mol)

Dengan menggunakan persamaan (4.2) maupun (4.3) akan diperoleh nilai energi bebas adsorpsi (ΔG^0_{ads}) sehingga akan dapat diperkirakan tipe adsorpsi apa yang terjadi pada permukaan logam akibat dengan penambahan inhibitor ekstrak sarang semut (*Myrmecodia Pendans*).

Tabel 4.8 Nilai Energi Bebas Adsorpsi Penambahan Inhibitor

30°C			
konsentrasi	Efisiensi Inhibitor	Derajat Surface Coferage	Energi Bebas Adsorpsi (ΔG^0_{ads}) kJ/mol
0	0	0	0
100	30.62	0.3	-13.77
500	59.37	0.594	-12.8
40°C			
konsentrasi	Efisiensi Inhibitor	Derajat Surface Coferage	Energi Bebas Adsorpsi (ΔG^0_{ads}) kJ/mol
0	0	0	0
100	23.84	0.24	-13.61
500	58.84	0.59	-13.19
50°C			
konsentrasi	Efisiensi Inhibitor	Derajat Surface Coferage	Energi Bebas Adsorpsi (ΔG^0_{ads}) kJ/mol
0	0	0	0
100	15.35	0.15	-11.32
500	29.27	0.293	-10.27

Menurut El-haddad (2013), dkk, nilai energi bebas adsorpsi yang kurang dari -20 kJ/ mol mengindikasikan terjadi



adsorpsi fisik pada permukaan logam. Sedangkan apabila nilainya lebih dari -40 kJ/mol, proses adsorpsinya melibatkan transfer atau *sharing* dari molekul inhibitor kepada permukaan logam untuk membentuk ikatan koordinat. Artinya proses adsorpsi yang terjadi berjalan secara fisika.

Dilihat dari tabel 4.6 menunjukkan bahwa nilai energi bebas gibs ditemperatur 30°C konsentrasi 100 mg/L yaitu -13,77kJ/mol dan pada konsentrasi 500mg/l yaitu -12.9kJ/mol. Sedangkan ditemperatur 40°C konsentrasi 100 mg/L yaitu -13,61kJ/mol dan pada konsentrasi 500mg/l yaitu -13.19kJ/mol. Terakhir ditemperatur 50°C konsentrasi 100 mg/L yaitu -11.32 kJ/mol dan pada konsentrasi 500mg/l yaitu -10.27kJ/mol. Dari hasil nilai energi bebas pada tabel 4.6 dapat disimpulkan bahwa seuai dengan teori bahwa perhitungan ini termasuk dalam adsorpsi fisik. Dimana memiliki range energi bebas -10 kl/mol sampai -13kj/mol.

Semakin tinggi temperatur maka laju korosi akan semakin meningkat. Hal ini dapat dibuktikan oleh persamaan Arhenius dimana laju korosi berbanding lurus dengan temperatur dan berbanding terbalik dengan energi aktivasi. Energy aktivasi berfungsi untuk menentukan ketebalan lapisan pasif yang terbentuk di permukaan logam. Dimana semakin tinggi energy aktivasi maka semakin tebal lapisan pasif yang terbentuk. Berikut persamaan energy aktivasi :

$$\text{Log } \rho = - \frac{E_a}{2.303 RT} + \text{Log } A \dots\dots\dots(4.4)$$

Dimana :

$\text{Log } \rho$ = Log dari laju korosi (mpy)

E_a = Energi aktivasi (kJ/mol)

R = Konstanta gas ideal (8.314)

T = Temperatur (K)

A = Arhenius praeksponensial factor



Berdasarkan perhitungan yang telah dibuktikan sebelumnya, yaitu perhitungan energi bebas beserta *Langmuir*. Berikut merupakan tabel energi aktivasi di konsentrasi tertinggi pada 500 mg/l :

Tabel 4.9 Nilai Energi Aktivasi Akibat Penamabahan Ekstrak Sarang Semut (*Myrmecodia Pendants*)

Konsentrasi 500 mg/l		Temperatur	Ea
log CR	1/T	°C	kJ/mol
2.831054	0.0033	30	11184.293
2.882316	0.0032	40	17273.88
3.216618	0.0031	50	19893.26

Dilihat dari tabel 4.7 menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai energi aktivasi maka semakin tinggi laju korosinya seiring bertambahnya temperatur. Ditunjukkan bahwa energi aktivasi terendah di temperatur 30°C sebesar 11184.29 kJ/mol. energi aktivasi terendah di temperatur 50°C memiliki sebesar 19893.26 kJ/mol. Hasil perhitungan dengan menggunakan metode adsorpsi ini sudah sesuai dengan teori yang ada. Dimana semakin naik energi aktivasi dan seiring semakin naiknya temperature maka efisiensi inhibisinya semakin turun. Ditinjau dari range energi bebas yang diketahui yaitu -10 kJ/mol sampai -13 kJ/mol, maka pengujian ini menggunakan adsorpsi fisik.



4.2 Pembahasan

Sering kita jumpai di dunia industri terdapat lingkungan asam karena adanya penyebab korosi yang luar biasa pada logam. Kondisi ini sering terjadi akibat adanya ion terlarut yang membentuk asam dan sulit untuk dikendalikan. Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk mencari cara paling efektif dalam metode pengendalian korosi pada lingkungan asam. Disini inhibitor sarang semut diharapkan mampu menghambat laju korosi pada kondisi asam. Di dunia industri, ion klorin (Cl^-) sering dijumpai terlarut dalam air dan minyak sehingga apabila berikatan dengan ion H^+ yang berada di sekitar lingkungan akan membentuk senyawa asam yang sangat mudah terkorosi.

Setelah dilakukan pengujian menunjukkan bahwa baja API 5L Grade B dalam lingkungan HCl 1M seiring pemberian temperatur di 30°C , 40°C dan 50°C ternyata mengalami penurunan laju korosi. Pada pengujian *weight loss*, perendaman dilakukan selama 10 jam dengan pengambilan data berat akhir setiap 2 jam sekali. *Weight loss* hanya dilakukan pada konsentrasi sarang semut di 0mg/l, 100mg/l dan 500mg/l. Dari hasil *weight loss* menunjukkan bahwa efisiensi tertinggi di temperatur 30°C media HCl 1M dengan konsentrasi inhibitor 500mg/l. Dari uji *Weight Loss* didapatkan efisiensi tertinggi untuk penambahan ekstrak sarang semut sebagai inhibitor adalah 59.37% dalam larutan HCl 1M dengan konsentrasi 500 mg/l sarang semut. Hasil ini didukung oleh hasil dari pengujian EIS dimana hasilnya menunjukkan nilai R_{ct} dalam larutan HCl 1M untuk 500 mg/L sarang semut adalah 108.29 Ω . Dalam pengujian EIS efisiensi inhibitor diketahui dari nilai R_{ct} , sehingga efisiensi tertinggi konsentrasi 500 mg/L ekstrak MP sebesar 14.173%.

Mekanisme inhibisi pada sarang semut ditunjukkan dengan pengujian EIS. Berdasarkan rangkaian *equivalent circuit* pada Nyquist plot hasil pengujian EIS menunjukkan bahwa adanya lapisan pasif yang terbentuk pada permukaan



logam. Hal ini ditunjukkan dengan nilai R_{ct} yang semakin besar seiring penambahan inhibitor. Sedangkan untuk nilai CPE harganya semakin menurun. Turunnya nilai CPE karena adanya penggantian molekul-molekul air oleh molekul-molekul inhibitor pada interface atau bidang pemisah dari electrical double layer yang menandakan bahwa adsorpsi ekstrak sarang semut membuat lapisan pada permukaan baja karbon API 5L Grade B di dalam larutan HCl 1M.

Hasil pengujian FTIR diketahui bahwa sarang semut terbukti mengandung gugus fungsi C-H, O-H, C=C, C-C, . Gugus fungsi O-H, C=C, C-H, C-C merupakan senyawa aromatik atau fenolik dari golongan flavanoid. Senyawa-senyawa tersebut terbukti mengandung zat antioksidan yang dengan sifat redoksnya memungkinkan senyawa ini berfungsi sebagai reduktor dan donator hidrogen. Senyawa fenolik dapat menghasilkan efisiensi inhibisi yang maksimum dikarenakan kestabilan sebagai *scavenger* radikal bebas. Dengan adanya gugus fungsi yang terdapat pada ekstrak sarang semut maka dapat dipastikan bahwa sarang semut merupakan inhibitor korosi. Inhibitor ekstrak sarang semut dapat menghambat laju korosi dengan cara adsorpsi ke permukaan logam. Berdasarkan pengujian *weight loss* telah dilakukan, terbukti bahwa ekstrak sarang semut mengadsorpsi logam secara fisik. Selain itu juga didukung dari nilai energi bebas dan energi aktivasi adsorpsi dengan merujuk menggunakan metode *Langmuir* bila diaplikasikan pada kedua logam dengan penambahan konsentrasi inhibitor. Dimana memiliki range energi bebas -10 kJ/mol sampai -13 kJ/mol yang termasuk dalam adsorpsi fisis.



(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari serangkaian percobaan yang telah dilakukan terhadap baja API 5L Grade B dengan variasi konsentrasi inhibitor *Myrmecodia pendans* dalam media korosif HCl 1M, dapat disimpulkan bahwa :

1. Berdasarkan pengujian *weight loss*, dengan penambahan ekstrak sarang semut (*Myrmecodia Pendans*) pada baja API 5L Grade B media HCl 1M di temperatur 30°C, 40°C, 50°C inhibitor sarang semut terbukti dapat menurunkan laju korosi dan meningkatkan efisiensi inhibisi terhadap baja API 5L Grade B. Dimana laju korosi terendah pada baja API 5L grade B konsentrasi 0mg/l HCL 1M di temperatur 30°C sebesar 1667.93 mpy. Sedangkan efisiensi didapat sebesar 59.37% pada konsentrasi 0 mg/Lmedia HCL 1M di temperaatur 30°C.
2. Berdasarkan pengujian EIS, mekanisme inhibisi pada baja API 5L Grade B dalam larutan HCl 1M adalah membentuk lapisan pasif (*film forming*).

5.2 Saran

1. Perlu adanya percobaan yang dilakukan dalam berbagai macam variasi temperatur agar mendapatkan hasil yang maksimal dalam mencari efisiensi inhibitor.



(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Atria dkk, 2013. ***“Aplikasi ekstrak Myrmecodia pendans sebagai green corrosion inhibitor untuk material mild steel pada larutan 3,5% NaCl”***. Departemen Material dan Metalurgi FTI ITS: Surabaya.
- Calister, D., Wiliam. 2007. ***“Material Science and Engineering, An Introduction, 7th Ed”***. John Wiley & Sons. Inc. Departmenet of Metalurgical Engineering The University of Utah.
- Candra, L., dan John W.S. 2011. ***“Studi Pengaruh Konsentrasi Penambahan Sirup Ubi Ungu sebagai Inhibitor Organik untuk Material Baja SPCC pada Air Demineralisasi dengan Penambahan CO₂”***. Tugas Akhir Fakultas Teknik Departemen Metalurgi dan Material, Universitas Indonesia.
- Eddy, N.O., 2008. ***“Ethanol Extract of Musapeel as an Eco-Friendly Inhibitor For Corrosion of Mild Steel in H₂SO₄”***. Journal Advance in Natural Applied Science 2: 35-42.
- El-Haddad, M, N. 2013. ***“Chitosan As a Green Inhibitor For Copper Corrosion in Acidic Medium”***. International Journal of Biological Macromolecules 55, 142-149.
- Fontana. 1987. ***“Corrosion Engineering”***. New york: Mc Graw Hill.
- Gamry, I. 2005, ***“Basics of Electrochemical Impedance Spectroscopy”***, Gamry Instrument Inc.

- Jia, Jung-Fu, dkk. 2009. "*L-Tryptophan as Green Corrosion Inhibitor for Low carbon Steel in Hydrochloric Acid Solution*". Springer Science Journal, 18 November 2009: pp 979-986.
- J. L Crolet. 1994. 1994. "**Which CO₂ Corrosion, Hence Which Prediction?, in Predicting CO₂ Corrosion in The Oil and Gas Industry**". London : U.Km Institute of Materials.
- Joko Tri Wahyono, "*Metode Peningkatan Tegangan Tarik dan Kekerasan pada Baja Karbon Rendah Melalui Fasa Ganda*," TEKNOIN, Vol. 10 No. 3, 2005.
- Jones, Denny. 1992. "*Principles and Prevention of Corrosion*". New York: Macmillan Publishing Company.
- Lathifah, Q.A., 2008. "*Uji efektivitas ekstrak Kasar Senyawa Antibakteri pada Buah Belimbing Wuluh (Averrhoa blimbi L.) dengan variasi pelarut. Universitas Islam Negeri Malang (UIN) Malang*".
- M. B Kermani, J. C Gonzales, G. L Turconi, T. Perez and C. Morales. 2005. "**Metarial Optimisation in Hydrocarbon Production**". Corrosion Paper, No. 05111, NACE International.
- Mekonnen Engida Adam, Kasim, Novy S., T.A Yeshitila, Ismadji, Suryadi. 2011. "*Extraction, identification and quantitative HPLC analysis of flavonoids from sarang semut (Myrmecodia pendans)*". Industrial Crops and Products. NACE International. *Corrosion Costs and Preventive Strategies in the United States*



- Ostovari, et al. 2009. ***“Corrosion Inhibition of Mild Steel in 1 M HCl solution by Henna Extract: A comparative study of the Inhibition by Henna and Its Constituents (Lawson, Gallic Acid, Glucosed, and Tannic Acid)”***. Corrosion Science. Vol 51, issue 9, pp. 1935-1949.
- Patton, C.C., ***“Applied Water Technology”***, Campbell Petroleum Series, 1995.
- Perez, Nestor. 2004. ***“ Electrochemistry and Corrosion Science.”*** Kluwer Academic Publisher.
- Rafferty, K., 1989. ***“Geothermal District Piping – A Primer,”***. Geo-Heat Center, Klamath Falls, Oregon.
- Roberge, P. R. 2000. ***Handbook of Corrosion Engineering:*** Mc Graw-Hill. New York.
- Sardjono, Koos, M. Syahril. ***“Analisis Korosi Pada Pelat Baja Bahan Baku Pembuatan Tangki Penyimpanan Minyak Mentah”***. Banten: 2001
- Sastri, V.S., Ghali, Edward, Elboujdaini, Mimoun. 2007. ***“ Corrosion Preventive and Protection Practical Solution”***. John Willey & sons Ltd.
- Sastri, V.S., 2011. ***“Green Corrosion Inhibitor: Theory and Prattice, First Edition”***. John Willey & Sons, Inc.
- Skoog, D.A , Hofller, F.J, & Courch, S.R. 2007. ***“Principles of Instrumental Analysis 6th Edition”***. Belmont USA : Thomson Brooke/Cole.
- Shreir L L, Jarman R A, Burstein G T. 1994. ***“Corrosion Volume 1-Metal/Environment Reactions.”*** Third

Edition. Silverstein, R.M., Webster, F.X., & Kimie. D.J., 2005. Spectrometric Identification of Organic Compounds 7th Edition. United States of America. John Willey & Sons. Inc.

Sulistijono. 1999. "***Diktat Korosi dan Analisa Kegagalan***". Surabaya : ITS.

Sulistyo, Rusnaldy. 2002. "***Optimasi Sistem Perlindungan Korosi dengan Metoda Perlindungan Anoda Korban untuk Struktur Tiang Pancang Pipa Baja Bangunan Dermaga Melalui Pemodelan Skala Laboratorium***". Semarang.

Syohan Demega Perdhana, Imam Rochani, Heri Supomo. 2007. "***Studi Laju Korosi Pada Plat Stainless Steel (SS) 304 dan 316 Dengan Variasi Media Korosi***". Fakultas Teknik Kelautan. Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.

Taleb Ibrahim, dkk. 2012. "***The Effect of Thyme Leaves Extraction Corrosion of Mild Steel in HCl***." Progress in Organic Coating 75 (456-462).

Tjitro, S., J Anggono, dan Hariyono, H. 2003. "***Pengaruh Lingkungan terhadap Efisiensi Asam Askorbat (Vitamin C) pada Laju Korosi Tembaga***." UKP.

Umoren, S.A, Eduok, U.M., Solomon, M. M., Udoh, A.P. "***Corrosion inhibition by leaves and steams extracts of Sida Acuta for mild steel in 1M H2SO4 solutions investigated by chemical and spectroscopic techniques***." Arabian Journal of Chemistry, 2011.



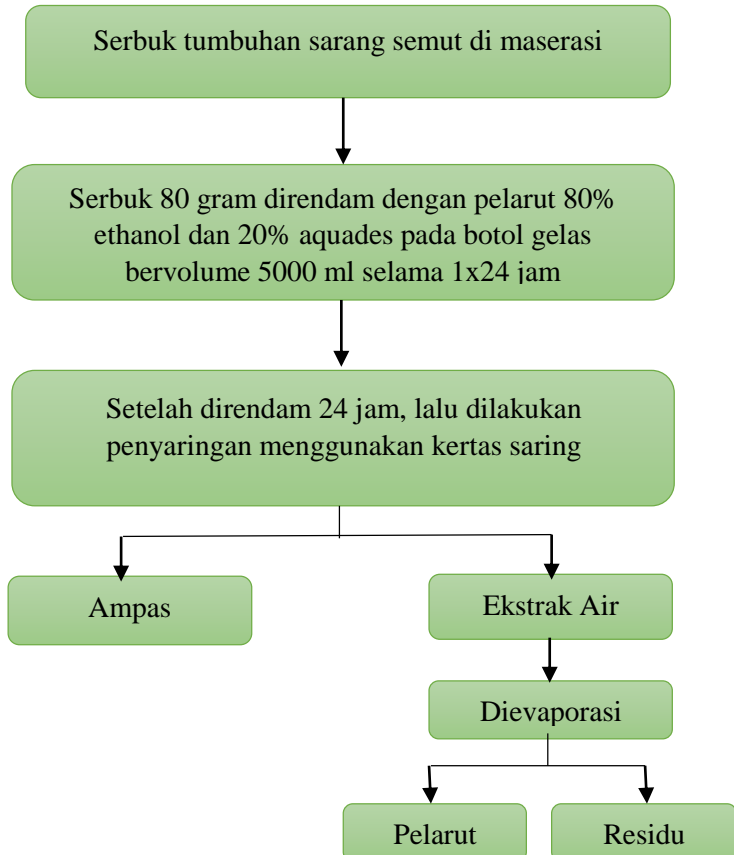
Wang, J., Yuan, X., Jin, Z., Tian, Y., Song, H., 2007. “*Free Radical and Reactive Oxygen Species Scavenging Activities of Peanut Skins Extract*”. Food Chemistry 104, 242–250.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



LAMPIRAN A SKEMA KERJA

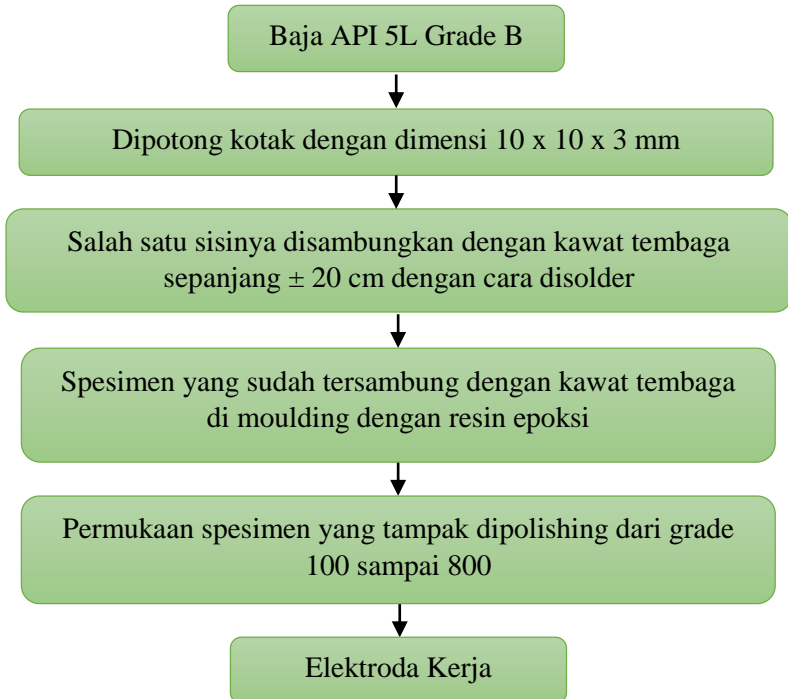
1. Pembuatan Ekstrak Inhibitor Korosi



Gambar A.1 Diagram Alir Pembuatan Ekstrak Sarang Semut



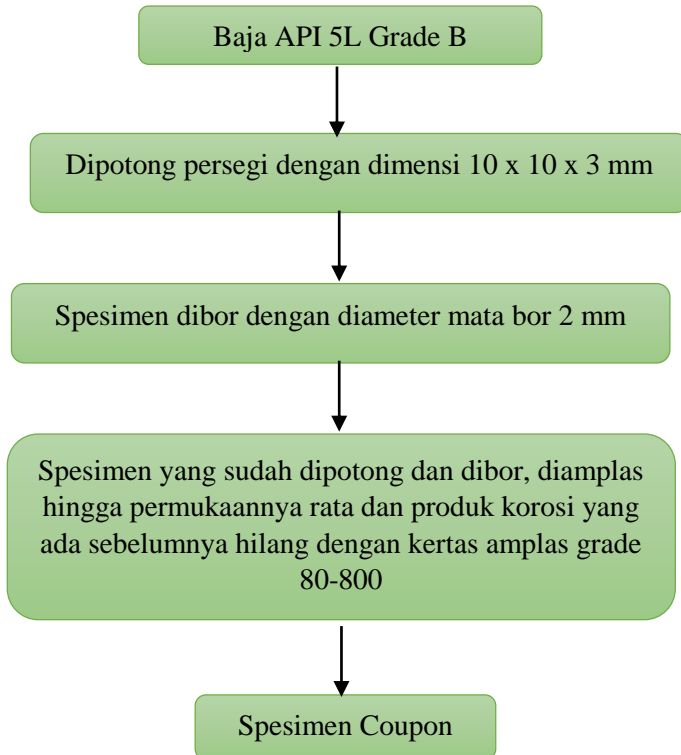
2. Pembuatan Elektroda Kerja



Gambar A.2 Diagram Alir Pembuatan Elektroda Kerja



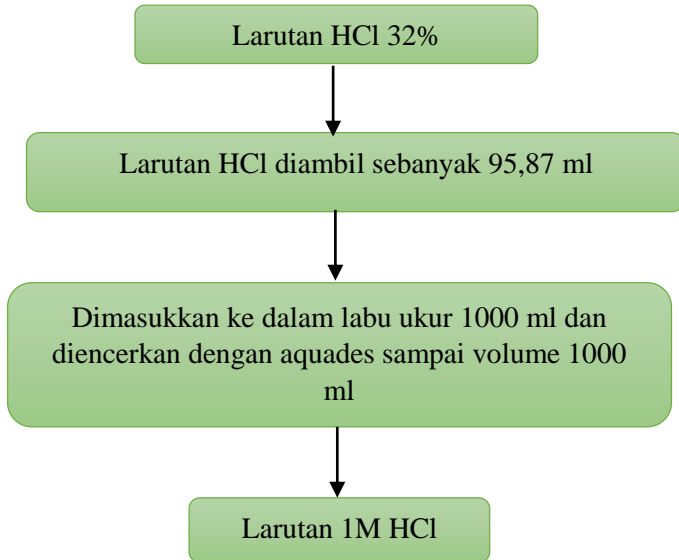
3. Pembuatan Spesimen *Coupon Weight Loss*



Gambar A.3 Diagram Alir Pembuatan Spesimen *Coupon*



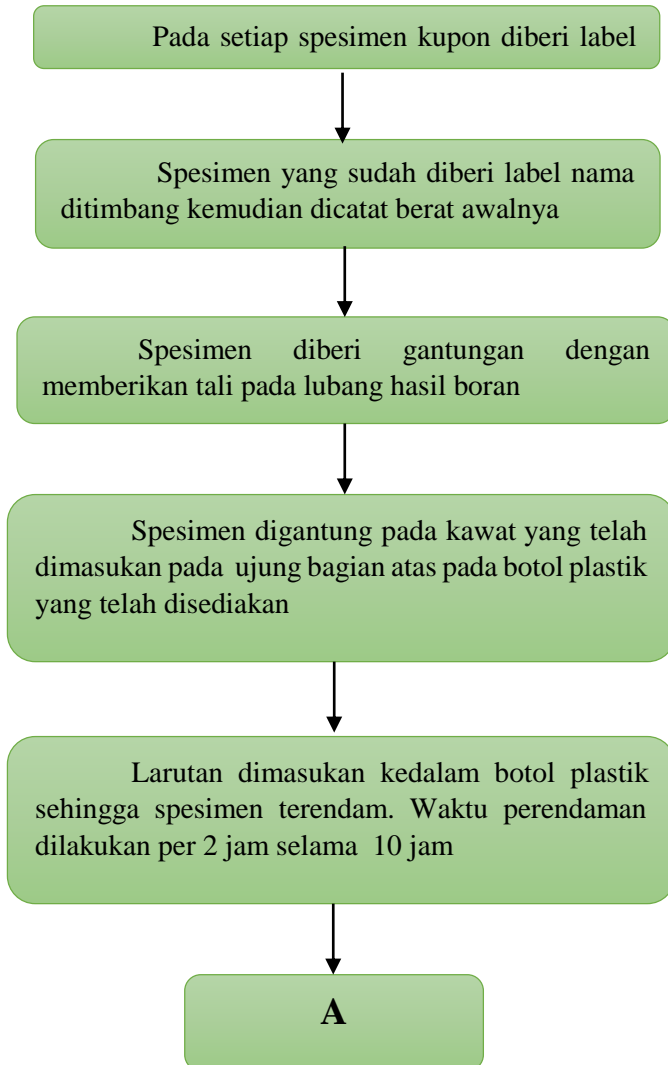
4. Pembuatan larutan HCl 1M

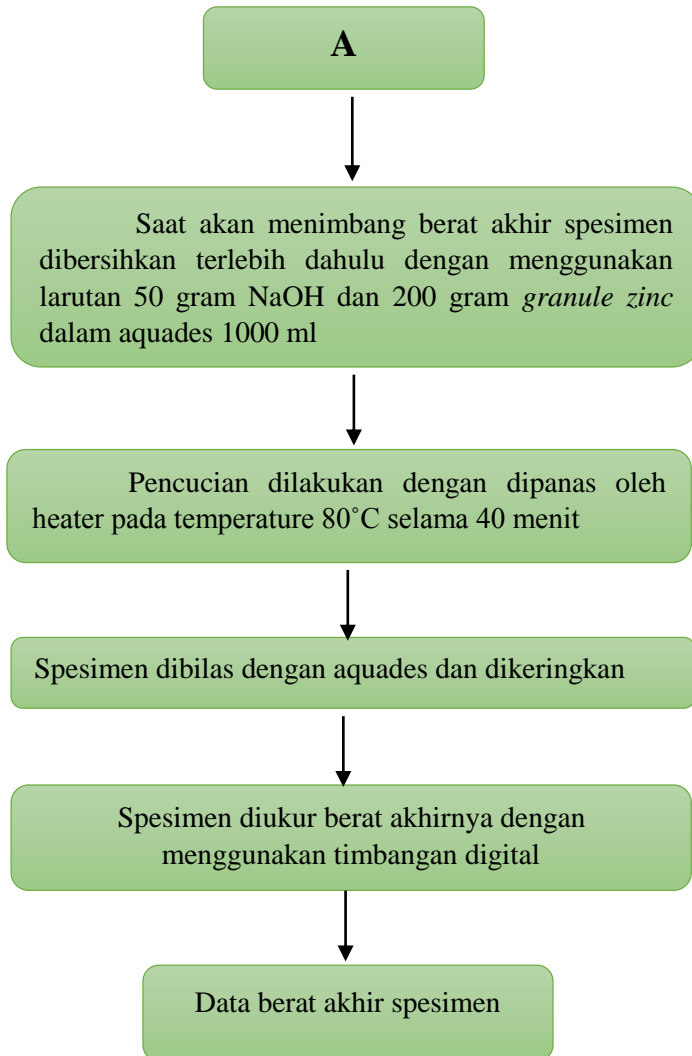


Gambar A.4 Diagram Alir Pembuatan Media HCl 1M



5. SOP Metode *Weight Loss*

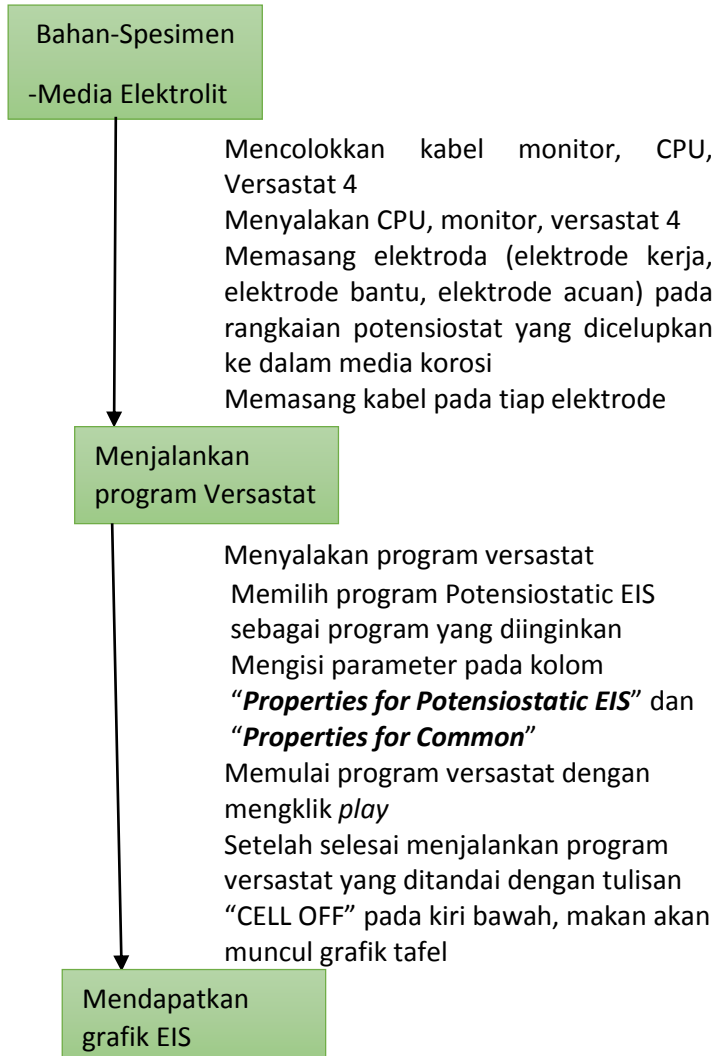




Gambar A.5 Diagram Alir Metode Pengujian *Weight Loss*



6. SOP Metode *EIS*



Gambar A.6 Diagram Alir Metode Pengujian *EIS*



LAMPIRAN B

PEMBUATAN MEDIA HCl 1 M

1. Larutan HCl 1M

Diketahui :

Berat jenis HCl : 1,19 gr/ml

Mr HCl : 36,5 gr/mol

%HCl : 32

Ditanya

Molaritas ?

Jawab:

$$M = \frac{\% \times 10 \times BJ}{Mr}$$

$$M = \frac{32 \times 10 \times 1,19}{36,5}$$

$$M = 10,43 \text{ M}$$

Sehingga dapat dihitung dengan menggunakan rumus pengenceran larutan, dengan asumsi dibutuhkan 1000 ml HCl 1M:

$$\begin{aligned} V_1 M_1 &= V_2 M_2 \\ V_1 \times 10,43 &= 1000 \times 1 \\ V_1 &= 95,87 \text{ mL} \end{aligned}$$



Maka untuk mendapatkan 1000 ml larutan HCl 1M, diambil 95,87 ml HCl 32% kemudian ditambah aquades hingga volume 1000 ml.



LAMPIRAN C
PERHITUNGAN INHIBITOR

1. Larutan HCl 1M

Diketahui :

Konsentrasi inhibitor = 200 mg/L

ρ larutan = 0,971714 g/mL

Ditanya: massa ekstrak yang ditambahkan dalam pelarut

Jawab:

$$\frac{X \text{ gram}}{971,74 \text{ gram}} = 200 \times 10^{-6}$$

$$X \text{ gram} = 0,19 \text{ gram}$$



LAMPIRAN D

HASIL PENGUJIAN WEIGHT LOSS Larutan HCl 1M

1. **Tabel D.1** Hasil rata-rata laju korosi dari pengujian *weight loss* pada konsentrasi 500 mg/L inhibitor sarang semut di larutan 1M HCl.

Temperatur	Waktu Perendaman (500)				
	2	4	6	8	10
30	1227.316	1033.055	924.5606	829.7889	677.73
40	3597.038	2004.358	1042.06	767.3939	762.63
50	3496.692	2286.101	2332.843	2098.272	1852.55

2. **Tabel D.2** Hasil rata-rata laju korosi pengujian *weight loss* pada konsentrasi 100 mg/l inhibitor sarang semut di larutan 1M HCl.




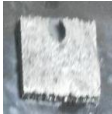

Temperatur	Waktu Perendaman (100)				
	2	4	6	8	10
30	2500.945	1759.92	1471.75	1263.98	1447.56
40	3350.031	2116.28	2042.1	1736.77	1571.07
50	4502.73	2513.81	2366.29	1945.82	1609.15




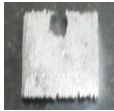

3. **Tabel D.3** Hasil rata-rata laju korosi pengujian *weight loss* tanpa inhibitor sarang semut di larutan 1M HCl.

Temperatur	Waktu Perendaman (0)				
	2	4	6	8	10
30	3563.59	2499.23	2121.29	1687.88	1667.98
40	3864.63	2778.83	2239.36	1864.56	1755.81
50	4943.57	2848.1	2584.14	2149.09	1900.92



1. Penampakan Visual Hasil Weight Loss pada konsentrasi 100 mg/l HCl 1M

Dengan Inhibitor				
2 jam	4 jam	6 jam	8 jam	10 jam
				

Tanpa Inhibitor				
2 jam	4 jam	6 jam	8 jam	10 jam
				

Gambar B.1 Pengamatan visual hasil pengujian weight loss di dalam HCl 1M

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Putri Astrini Arumastuti. Putri dari pasangan Sukarjito dan Sunarni. Lahir di Trenggalek pada tanggal 25 Mei 1992. Penulis menempuh pendidikan formal yakni SDN 2 Bendorejo Trenggalek, SMPN 1 Trenggalek dan SMAN 1 Boyolangu Tulungagung. Penulis menempuh masa perkuliahan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya masuk pada tahun 2010. Semasa perkuliahan, penulis aktif berorganisasi dan menjadi anggota HMMT FTI-ITS. Dalam bidang organisasi berawal dari staff Departemen Hubungan Luar HMMT FTI ITS periode 2011-2012/ 2012-2013.

Pada tahun kedua penulis berhasil lolos PKMP untuk dibiayai oleh DIKTI dengan judul “***Lantai Keramik Batik (Lakertik)***”. Penulis menutup kuliah di kampus dengan Tugas Akhir dengan judul “***Pengaruh Penambahan Inhibitor arang Semut Terhadap Laju Korosi Baja API 5L Grade B Pada Temperatur 30°C, 40°C, 50°C Dalam Media HCl 1M.***”

Email: aputri.astrini@gmail.com



(Halaman ini sengaja dikosongkan)